

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektroniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Využití alternativních zdrojů energie pro napájení senzorů
The using of alternative energy sources to power sensors

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Radka Pavelková**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Využití alternativních zdrojů energie pro napájení senzorů**
The Using of Alternative Energy Sources to Power Sensors

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou mobilních senzorů.
2. Seznámení se s problematikou obnovitelných zdrojů energie.
3. Seznámení se s možnostmi využití bezbateriových mobilních senzorů pro měření v oblasti biometrie a biotelemetrie.
4. Návrh měření a vizualizace bezbateriových zdrojů pro napájení senzorů.
5. Experimentální ověření navrženého řešení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SPIES, Peter. *Handbook of energy harvesting power supplies and applications*. Singapore London: Pan Stanford Eurospan distributor, 2011. ISBN 978-9814241861.
[2] LAI, D.T., R. BEGG a M. PALANISWAMI. *Healthcare sensor networks : challenges toward practical implementation*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2012. 448 s. ISBN 978-1439821817.
[3] DARGIE, Waltenegus and Christian POELLABAUER. *Fundamentals of wireless sensor networks theory and practice*. Chichester, West Sussex, U.K. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. 311 s. ISBN 978-0470997659.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015




doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Datum: 7. 5. 2015 v Ostravě

Podpis: 

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Valovi za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou napájení biometrických a biotelemetrických senzorů z alternativních zdrojů energie. V tomto případě z fotovoltaického článku, který byl vybrán jako nejvhodnějšího zdroj energie pro napájení cílového zařízení. Na celý systém musela být adaptována technika Energy Harvesting, která řeší efektivní zacházení s malým množstvím získané energie. Byly vytvořeny dva prototypy zařízení na měření obvodových veličin za účelem zjistit, jaké množství energie lze vytěžit tímto způsobem. Tyto veličiny měří A/D převodník INA230. Měření je již plně automatizováno. Bylo vytvořeno funkční zařízení, jenž naměřená data z fotovoltaického článku posílá po I²C rozhraní počítači, který data dále zpracovává a ukládá do vzdálené MySQL databáze. Výsledky měření jsou přehledně zobrazeny ve vizualizaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energy Harvesting, alternativní zdroje energie, solární článek, INA230, I²C rozhraní, měření napětí a proudu, vizualizace

ABSTRACT

The Bachelor thesis deals with the problems of power supply of biometric and biotelemetric sensors from alternative energy sources. In this case we used a photovoltaic cell, which was chosen as the most suitable source of alternative energy to supply the target device. Energy Harvesting technique had to be adapted to all the system. This technique deals with an effective use with a low quantity of gained energy. Two prototypes of the device measuring the peripheral quantity were created to discover what quantity of energy can be gained by using this method. The quantities are measured by A/D convertor INA230. The measurement is fully automated. A functional prototype was created for sending the measured values from the photovoltaic cell to the computer by using I²C interface. The computer processes the data and stores them to the distant MySQL database. The outcome is shown synoptically in the visualisation.

KEY WORDS

Energy Harvesting, Alternative Energy Sources, Solar Cell, INA230, I²C Interface, Voltage and Current Measurement, Visualisation

Seznam použitých zkratek a symbolů

BSIG	Bluetooth Special Interest Group
BUS	Napětí na sběrnici
C	Uhlík
CAL	Hodnota nastavení kalibrace
cm	Centimetr
cm ²	Centimetr čtvereční
CNS	Centrální nervová soustava
CSD	Circuit Switched Data
ČR	Česká republika
DC	Stejnoseměrný proud
DPS	Deska plošného spoje
EH	Energy Harvesting
EKG	Elektrokardiograf
EU	Evropská Unie
FeCl ₂	Chlorid železnatý
GHz	Gigahertz
GPRS/GSM	General Packet Radio Service/Global System for Mobile Communication
GUI	Graphics User Interface
H	Hight

H ₂ O	Voda
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
Hz	Hertz
CH ₄	Metan
I ₁	Vstupní proud
ID	Identification
I _{LBS}	Rozlišení proudu
I _{MAX}	Maximální proud
I _{PRŮM}	Průměrný proud
JE	Jaderná elektrárna
K	Součinitel využití
kHz	Kilohertz
kWh	Kilowatthodina
kΩ	Kiloohm
L	Low
λ	Délka vlny
m	Metr
mA	Miliampér
Mbit/s	Megabit za sekundu
MHz	Megahertz
MK	Mikrokontrolér

mmHg	Milimetr rtuťového sloupce
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Tranzistor
ms	Milisekunda
mV	Milivolt
mW	Miliwatt
NaOH	Hydroxid sodný
NiMH	Nikl Metan Hydridový (akumulátor)
nm	Nanometr
nW	Nanowatt
ORM	Object Relational Mapper
OZE	Obnovitelné zdroje energie
Pb	Olovo
PbO ₂	Oxid olovičitý
PbSO ₄	Síran olovnatý
P _{cv}	Průměrný celoroční výkon
PDA	Personal Digital Assistant
pF	Pikofarad
P _I	Instalovaný výkon
P _p	Špičkový výkon
R	Odpor
R _B	Odpor bočníku

SCL	Synchronous Clock
SDA	Synchronous Data
Si	Křemík
SO ₂	Oxid siřičitý
SPO ₂	Saturace krve kyslíkem
U _B	Napětí na bočníku
U _{MAX}	Maximální napětí
U _{VST}	Vstupní napětí
V	Volt
V/A	Voltampérova
W	Watt
WiFi	Wireless Fidelity
Ω	Ohm
μW	Mikrowatt

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Alternativní zdroje energie	2
2.1	Rozdělení energetických zdrojů podle obnovitelnosti	2
2.1.1	Neobnovitelné zdroje	2
2.1.2	Obnovitelné zdroje energie	3
2.1.3	„Vlnné“ druhy energie	5
3.	Elektrochemické zdroje proudu.....	7
3.1	Ideální baterie.....	7
3.2	Primární a sekundární články (akumulátory)	7
3.3	Kondenzátor	9
3.4	Superkapacitor.....	10
4.	Energy Harvesting.....	11
4.1	Systémy využívající sklizeň energie	12
4.2	Účinnost	13
5.	Biometrické/Biotelemetrické senzory	14
5.1	Rozdělení senzorů	14
5.2	Zvažované senzory	15
5.2.1	Biotelemetrické senzory	15
6.	Přenos dat rozhraním Bluetooth, ZigBee, GSM	20
6.1	Bezdrátové komunikační rozhraní.....	20
6.2	Bluetooth.....	20
6.3	Zigbee.....	21
6.4	WiFi.....	22
6.5	GPRS/GSM.....	22
6.6	Porovnání	23
7.	Návrh a realizace měřících obvodů	24
7.1	Převodník INA230	25
7.1.1	Princip měření	25
7.1.2	Režimy a nastavení registrů	26

7.1.3	Programování	28
7.1.4	Výpočty pro nastavení registrů INA230: [32]	29
7.1.5	Komunikace	30
7.1.6	Návrh a výroba desky plošného spoje	32
7.2	Čip CC2541	35
7.3	Komunikace	36
7.3.1	Modul UM232H-B	36
7.3.2	Komunikace přes Bluetooth 4.0	37
7.4	Sestavení a měření	37
7.5	Přesnost měření	40
8.	Databáze	44
8.1	Struktura databáze	44
8.2	Ukázka příkazu	46
9.	Vizualizace DC/DC měniče	47
9.1	Vývoj programu	48
9.2	Průběh programu	49
10.	Závěr	52
	Zdroje literatury:	53
	Seznam příloh:	56

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá napájením biometrických a biotelemetrických senzorů alternativními zdroji energie. V současné době se celý svět zabývá tím, jak získat a uchovat elektrickou energii, bez které by nynější svět nebyl schopný existovat tak, jak ho známe. Poslední desetiletí je v energetické politice nový trend a tím je „energetický mix“ jednotlivých druhů zdrojů energie. Jejich role a podíl se odvíjí podle hodnocení z hlediska trvale udržitelného rozvoje a z hlediska ekonomických ukazatelů. Využívání alternativních zdrojů v dnešní době roste, technologie se vyvíjí. Mají velký potenciál, protože jsou nevyčerpatelné a stále se obnovují.

Ve své bakalářské práci se nebudu zabývat obřími fotovoltaickými elektrárnami, které postupně nahrazují pole, která byla dříve využívána pro zemědělské účely, nýbrž využitím drobných zdrojů energie pro napájení malých elektrických obvodů, které monitorují především fyzikální veličiny a odesílají je bezdrátově k přijímači. Tyto senzory je pak možné umístit do okolí bez nutnosti instalace přírodních kabelů a také je není nutné napájet chemickými články a měnit je v nich.

Těchto systémů je umožněno využívat díky pokroku ve snižování spotřeby elektrické energie v dnešní elektronice. Dnešní mikrokontroléry mají možnost úsporných režimů a využívají systémů, které jim snižují spotřebu elektrické energie k řádům μW .

Tímto se bude zabývat i první teoretická část mé bakalářské práce, ve které se pokusím upřesnit, jaké možnosti zdrojů elektrické energie existují, jejich dělení, které jsou dlouhodobě využitelné a které nahradí stávající zdroje energie v budoucnu.

V teoretické části mé práce jsou dále rozebrány způsoby, jak ukládat tuto energii i pro chvíle, kdy získaná energie nebude dostatečná a bude řešen i přenos naměřených dat do databáze a její propojení s vizualizací.

Dále je popsán princip Energy Harvestingu, čím je pro nás výhodným a jakým způsobem ho využije naše zařízení a zvažované biometrické a biotelemetrické senzory, které by bylo zařízení schopno napájet. Senzor, který funguje na způsob Energy Harvestingu má nespornou výhodu v tom, že jeho životnost je prakticky neomezená. Pouze životnost komponentu je omezená.

Cílem experimentální části bakalářské práce je naměřit a vizualizovat hodnoty napětí, proudu a výkonu, které lze vytěžit ze dvou solárních článků pro napájení biometrického nebo biotelemetrického senzoru. Bude řešena i komunikace mezi měřicí částí a řídicí částí obvodu a komunikace celého měřícího obvodu s počítačovým zařízením - mobilním telefonem nebo počítačem.

2. Alternativní zdroje energie

Dlouhou dobu se šířil názor, že na Zemi jsou nevyčerpatelné zásoby energetických surovin ropy, uhlí a zemního plynu. Nyní už ale víme, že to není pravda a začalo se mluvit o celosvětové energetické krizi, která by z důvodu úbytku surovin mohla nastat. Snižující se zásoby fosilních paliv, růst světové populace i vyšší nároky na energii po celém světě, ohrožení biosféry a čím dál větší závislost civilizace na spolehlivé dodávce energie mění situaci, která byla ve 20. století. Nároky na energii rostou a tím jsou čím dál více odčerpávány zejména nenahraditelné fosilní zdroje energie.

Je důležitou skutečností, že zásoby fosilních paliv jsou vyčerpatelné a že je nutné začít využívat další zdroje. Řešením není zemní plyn, který je závislý na dovozu i problém jeho očekávaného cenového růstu. Jaderná energie je hodně diskutovaná kvůli bezpečnosti a skladování využitého uranu a mnohé státy ji nechťejí využívat.

Měli bychom se ubírat směrem využívání alternativních zdrojů energie, pro které platí, že by měly být lidstvu k dispozici stále. Obnovitelné zdroje mají schopnost částečné nebo celkové obnovy a to samostatně nebo za pomoci člověka. [1]

Tuto problematiku analyzuje tzv. Zelená kniha Evropské unie „Evropská strategie pro zajištění bezpečných dodávek energií“. Klade se zde velká důležitost na využívání obnovitelných zdrojů. Toto téma dále rozvíjí Zelená a Bílá kniha Evropské unie „Obnovitelné zdroje energie – energie pro budoucnost.“ [2]

Hlavním bodem evropské energetické politiky EU se tím pádem stává možnost maximálního využití obnovitelných zdrojů. Podle průzkumu EU považuje zvyšování podílu OZE na bilanci spotřeby energie za jeden z hlavních úkolů svých vlád 90 % občanů členských zemí. [3]

Definice obnovitelných zdrojů dle zákona o životním prostředí říká:
„Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat a to samy nebo za přispění člověka.“ [4]

2.1 Rozdělení energetických zdrojů podle obnovitelnosti

2.1.1 Neobnovitelné zdroje

Za neobnovitelné zdroje energie je považován takový zdroj energie, jehož vyčerpání je odhadováno v horizontu maximálně stovek let, jeho případné obnovení by trvalo mnohem déle. Mezi neobnovitelné zdroje patří fosilní a jaderná paliva.

2.1.2 Obnovitelné zdroje energie

OZE je označení některých na Zemi přístupných druhů energie, získaných především z jaderných přeměn v jádru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského jádra a setrvačnost soustavy Země - Měsíc. Čerpáme je ve formě slunečního záření, biomasy, vodní energie, větrné energie, geotermální energie a energie přílivu.

V celosvětovém měřítku představují OZE velký ekologický potenciál, který by bylo teoreticky možné využít pro pokrytí celkové celosvětové spotřeby energie. Bohužel je to limitováno několika důvody – malá plošná koncentrace, nestejnoměrné územní rozložení, proměnlivá intenzita v průběhu dne i roku a značné investiční náklady. [5]

Pro posouzení energetického potenciálu OZE se využívá jako ukazatel instalovaný výkon P_i zařízení určeného k transformaci energie. S ohledem na výše uvedené limity OZE je nutné zohlednit další technické parametry. Nezbytná je znalost charakteristických vlastností energetických zařízení, jako jsou:

- P_i (W) instalovaný výkon
- P_p (Wp) špičkový výkon - index „p“ označuje Wattpeak
- P_{cr} (kW) průměrný celoroční výkon
- K součinitel využití - využití zařízení v průběhu celého roku a je určován u energie W_r (kWh*r⁻¹) vyprodukované za rok:

$$K = \frac{W_r}{P_i * 8760} \quad (1)$$

Vzorec č. 1 Instalovaný výkon P_i [6]

Druhy obnovitelných zdrojů nejčastěji využívaných v praxi:

- **Větrná energie**

Na území ČR se větrná energie využívala ve větrných mlýnech. První větrné elektrárny vznikaly koncem 80. let minulého století. Další oživení přišlo na začátku nového tisíciletí. Výkony malých zařízení se běžně pohybují okolo 300 W pro soukromé využití až po 3 MW u velkých jednotek. Nevýhodou je nepravidelnost a nahodilost, nepřesné předpovědi síly a směru větru zapříčiňují, že zařízení určená k využívání jeho energie jsou schopna pracovat pouze na 10-20 % roční doby. Další nevýhodou je jejich hluk, ale dopad na životní prostředí je minimální.

- **Solární energie**

Stejně jako u jaderné energie jsou zde negativní dopady minimální, získaná elektrická energie přímo ze slunečního záření je čistým a šetrným způsobem. Sluneční elektrárny využívají zdroje energie, kterého je a ještě dlouho bude v přírodě dostatek. Přeměna slunečního záření na elektřinu je dnes už tak účinná, že solární systémy z jednoho metru aktivní plochy získají až 100 mW/cm^2 , po zakrytí slunce oblaky 10 mW/cm^2 a uvnitř místnosti $100\text{-}500 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$.

- **Princip**

Při vzájemném působení světla a hmoty dochází k pohlcování fotonu a uvolňování elektronu. Pokud je kov vystaven světelnému záření, dochází k jejich uvolňování z povrchu a pokud je množství energie dostatečné, tak elektron vyletí z povrchu a zanechá na svém místě kladný náboj, tzv. díru. Když elektron zůstane v kovu, je přitážen k díře a jeho energie se při rekombinaci uvolní ve formě tepla. Pokud by místo kovu dopadalo světelné záření na polovodičový přechod P-N, pak tento P-N přechod vytvoří bariéru, která znemožní volným elektronům z polovodiče N rekombinovat s dírami v polovodiči typu P. V N-vrstvě se nahromadí volné elektrony, ve vrstvě P díry a P-N přechod zabrání jejich rekombinaci. Zvětšením počtu volných elektronů vznikne na P-N přechodu napětí o velikosti až 0,6 V při výkonu 0,5 W.

- **Typy fotovoltaických článků**

Výrobně nejnákladnější jsou panely monokrystalické. Ty jsou tvořeny jedním dokonalým krystalem křemíku, který je rozřezán na tenké vrstvy. Komerční C-Si panely mají maximální účinnost až 22,9 %, v praxi se spíše setkáváme s panely o účinnosti 14-17 %.

Daleko levnější jsou oproti tomu tzv. polykrystalické panely složené z většího množství menších krystalů, což zhoršuje optické i elektrické vlastnosti. I drobné přechody kazí účinnost. Tyto moduly mC-Si dosahují účinnosti 15,5 %, běžně však jen 10-14%.

- **Vodní energie**

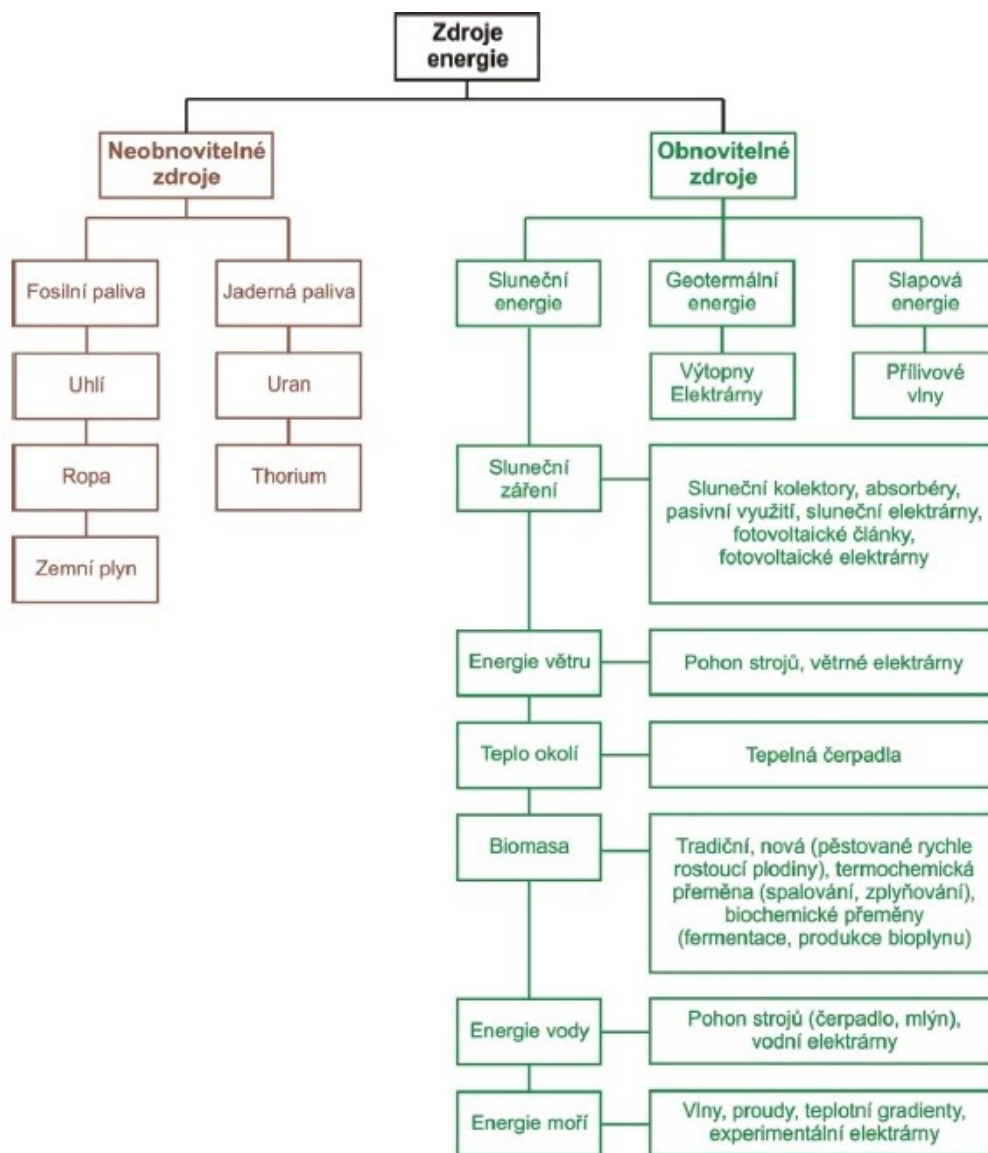
Největší podíl mezi OZE má v ČR vodní energie. Zatímco energie vodního kola má velké využití pro mnoho lidských činností, moderní turbíny nacházejí využití jen pro výrobu elektrické energie. Výhodou vodních elektráren je jejich šetrnost k ovzduší, nedevastují krajinu a povrchovou či podzemní těžbou vody a dopravou paliv a surovin jsou bezodpadové. Malá vodní elektrárna má 10 MW instalovaný výkon. Jsou to většinou jen sezonní zdroje.

- **Energie biomasy**

Biomasa je definována jako hmota organického původu. V souvislosti s energetikou jde nejčastěji o dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky včetně exkrementů. Pokud je toto palivo dobře spálené, je velmi šetrné k životnímu prostředí. [3]

2.1.3 „Vlné“ druhy energie

Elektrickou energii lze získávat z mnoha „zbytkových“ druhů energií, která by se za normálních okolností uvolnila do prostředí jako odpad. Například energie z vibrací, tlaku, tepelná energie, která uniká z tepelných elektráren, teplo ze spalovacích motorů. Dalším zdrojem je obrovské množství vysokofrekvenční energie v prostředí, protože jsou všude přítomné televizní vysílače a televizní vysílání. [8]



Obr. č. 1 Schéma rozdělení zdrojů elektrické energie [2]

3. Elektrochemické zdroje proudu

Kromě velkých zdrojů energie jako jsou elektrárny, existují drobnější zařízení, které pokryjí spotřebu energie pro domácnost, například solární panely nebo ještě menší zdroje, které napájejí jen jedno zařízení, které je pak autonomní a nemusí používat ani baterie, od kterých se snaží dnešní výrobci elektroniky postupně ustupovat.

Elektrochemické zdroje proudu můžeme definovat jako zařízení, ve kterých dochází k přímé přeměně chemické energie na energii elektrickou. Látky, které vstupují do chemické reakce, mají jiný obsah vnitřní energie nežli reagující produkty. Rozdílem je energie, kterou reakční soustava přijímá nebo dodává do svého okolí. Většina samovolně probíhajících chemických reakcí, tedy i vybíjení elektrochemických zdrojů, probíhá tak, že vstupující látky do reakce mají větší obsah vnitřní energie nežli reagující produkty, takže rozdíl energie je dodáván do okolí formou světla, tepla, elektrické energie, mechanické práce, apod.

Elektrochemické zdroje proudu jsou vymyšleny tak, aby většina získané energie byla energie elektrická a tak bylo dosaženo co nejvyšší účinnosti. [9]

3.1 Ideální baterie

Tužkové články mají špatný vliv na životní prostředí. V naprosté většině obsahují baterie nebezpečné chemické látky např. olovo, kadmium, rtuť a další, které jsou lidskému organismu škodlivé a jedovaté látky, které se mohou vlivem špatného uložení uvolňovat do přírody a zamořit ji.

Ideální zařízení na uchování energie by mělo splňovat tyto body:

- nekonečnou trvanlivost
- zanedbatelné množství ztráty energie
- neomezenou kapacitu
- zanedbatelnou velikost
- bez nutnosti přeměny energie

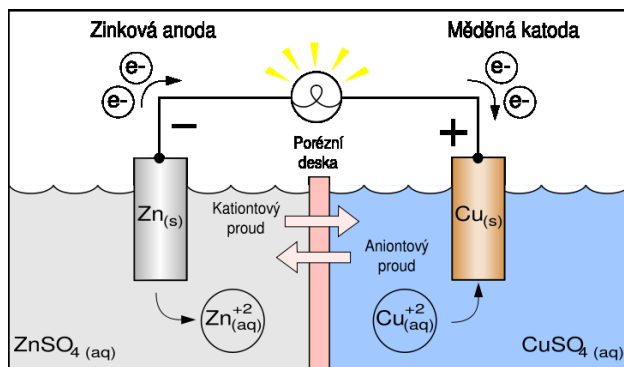
Taková baterie zatím neexistuje. [10]

3.2 Primární a sekundární články (akumulátory)

Elektrochemický článek

Základem většiny elektrochemických zdrojů elektrického proudu je elektrochemický (galvanický) článek, který je tvořen dvěma elektrodami a iontově vodivým elektrolytem. Tato soustava je umístěna ve vhodné nádobě.

Elektrochemicky aktivní materiál elektrod musí být vybrán tak, aby na jedné z nich probíhala oxidace a na druhé redukce. Elektroda, na jejímž povrchu probíhá oxidace, se nazývá anoda a elektroda, na které probíhá redukce, je katoda. Elektrody bývají oddělené porézním separátorem, aby bylo zabráněno přímému kontaktu (zkratu) elektronově vodivých částí elektrod. [11]

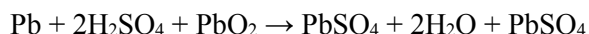


Obr. č. 2 Schématické zobrazení reakce uvnitř galvanického článku [12]

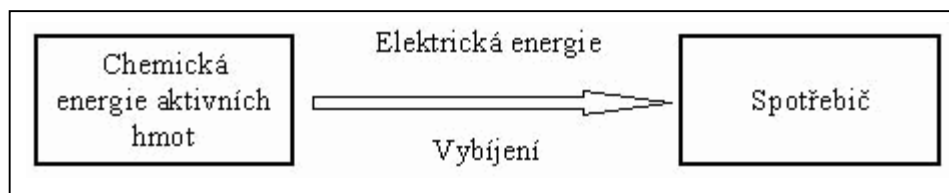
Elektrochemické zdroje proudu se dělí na články primární - nenabíjecí a články sekundární - akumulátory.

Primární články mají pouze schopnost přeměnit při vybíjení chemickou energii na energii elektrickou, ale akumulovat energii již nemohou.

Chemická rovnice vybíjení: [13]



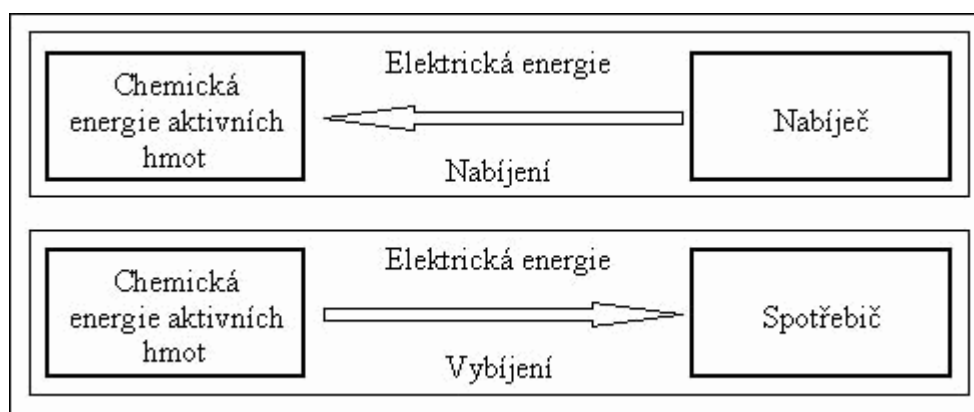
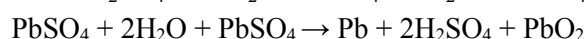
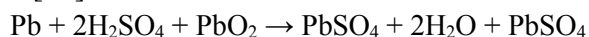
Aktivní hmotu záporné elektrody tvoří olovo Pb, u kladné elektrody je oxid olovičitý PbO₂. Elektrolytem je zde zředěná kyselina sírová H₂SO₄. Vybíjením se aktivní hmota záporné i kladné elektrody přeměňuje na síran olovnatý PbSO₄ a elektrolyt je ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu H₂O.



Obr. č. 3 Schématické zobrazení funkce primárního článku [11]

Elektrické akumulátory jsou zdroje chemické elektrické energie, které jsou během nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a akumulovat ve svých elektrodách jako energii chemickou (změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod). Při vybíjení dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče, přitom se mění chemické složení aktivních složek elektrod a chemická energie, v nich uložená, se mění na energii elektrickou. Na obrázku je schématické znázornění.

Rovnice vybíjení a nabíjení: [13]



Obr. č. 4 Schématické zobrazení funkce akumulátoru [11]

Životnost většiny elektrochemických akumulátorů je řádově ve stovkách nabíjecích/vybíjecích cyklů, např. NiMH akumulátory mají 500–1000 cyklů. Postupně klesá kapacita akumulátoru (tj. celkový náboj, který je při plném nabití schopen pojmout) kvůli chemické korozi jeho elektrod. Životnost je značně ovlivněna provozní teplotou a také způsobem vybíjení a nabíjení. [11]

3.3 Kondenzátor

Kondenzátor je pasivní elektrotechnická součástka, jejíž charakteristickou vlastností je kapacita. Každý skutečný kondenzátor kromě toho vykazuje další takzvané parazitní vlastnosti jako je indukčnost a odpor, čímž se odlišuje od kapacitoru, což je myšlená ideální součástka, která má pouze kapacitu, stálou a nezávislou na okolních podmínkách.

Kondenzátor se skládá ze dvou vodivých elektrod oddělených dielektrikem. Na každou z elektrod jsou přivedeny elektrické náboje opačné polarity, které se vzájemně přitahují elektrickou silou. Dielektrikum mezi elektrodami zabrání, aby se částice s nábojem dostaly do přímé blízkosti a tím došlo k neutralizaci - vybití elektrických nábojů. Přitom dielektrikum svou polarizací zmenšuje sílu

elektrického pole nábojů na deskách a umožňuje tak umístění většího množství nábojů. Vzhledem k elektrostatické indukci je velikost náboje na obou deskách stejná. [14]

3.4 Superkapacitor

Superkondenzátory (superkapacitory, ultrakapacitory) jsou kondenzátory s vysokou kapacitou.

parametr	akumulátor	klasický kondenzátor	superkapacitor
hustota energie	100 Wh / kg	0.2 Wh / kg	10 Wh / kg
měrný výkon	1 kW / kg	500 kW / kg	10 kW / kg
do ba nabíjení (vybíjení)	5 h	0.001 s	10 s
životnost	1000 cyklů	1 000 000 cyklů	1 000 000 cyklů

Tabulka č. 1 Srovnání parametrů akumulátoru, klasického kondenzátoru a superkapacitoru [15]

Výhody

- Vysoké nabíjecí a vybíjecí proudy, vyšší než u baterií.
- Reaguje rychle na změny nabíjení a vybíjení na rozdíl od baterií, u kterých řádově sekundu trvá, než se otočí chemický proces a baterie se začne nabíjet.
- Na rozdíl od baterií ukládá energii s nepatrnými ztrátami.
- Nemá prakticky omezený počet nabíjecích a vybíjecích cyklů.

Nevýhody

- Některé typy elektrolytických superkondenzátorů však mohou stárnout.
- Uložená energie je zatím nesrovnatelná s bateriemi.
- Cena na jednotku energie je příliš vysoká (cca 60 000 Kč na ujetí jednotek metrů elektromobilu).
- Hmotnost na jednotku energie je vysoká (viz předchozí tabulka).
- Aby se využila jeho kapacita (klesá napětí) vyžaduje elektroniku, která může mít ztráty a výkonové omezení. [15]

4. Energy Harvesting

Energy Harvesting známý pod pojmem Energy Scavenging, znamená ve volném překladu sběr energie. Je to způsob využití energie, kterou získáme z okolního prostředí pro drobné elektronické a elektrické zařízení. EH má za cíl nahradit postupně klasické mobilní napájecí zdroje, jako například chemické články, mikro-energetickými generátory. Dnes se toho využívá ve zdravotnictví, kde se kardiostimulátory obejdou už bez baterií. Stejného cíle chtějí dosáhnout výrobci spotřební elektroniky, kteří se snaží snížit velké množství chemického nebezpečného odpadu, který se každý rok vyprodukuje díky napájecím článkům. Elektrickou energii lze získávat z mnoha „zbytkových“ druhů energií, které by se za normálních okolností uvolnily do prostředí jako odpad. Například energie z vibrací, tlaku, tepelná energie, která uniká z tepelných elektráren, teplo ze spalovacích motorů a zdroje tepelné energie. Dalšími zdroji jsou biologická energie, solární (ze všech zdrojů světla), elektromagnetická energie získávána z tlumivek, cívek a transformátorů, větrná energie a energie proudu vody, chemická energie z přirozeně se opakujících biologických procesů a obrovské množství vysokofrekvenční energie v prostředí, protože jsou všude přítomné televizní vysílače a televizní vysílání. [8] [16]

Nevýhodou těchto zdrojů je malé množství zachytitelné energie, která se buď špatně zachycuje, nebo ještě neznáme způsob jejího zachycení pro použití. Energy Harvesting hledá nové možnosti, jak zachytit tuto energii, uložit toto malé množství a přeměnit ho na užitečný výkon. Spotřeba energie těmito obvody musí být řízená, protože je zde potřeba co největší energetické účinnosti. Je nutné tuto energii akumulovat a uchovat co nejdéle dobu. Hospodaření těchto zařízení musí být perfektně zpracované a tolerovat výkyvy napětí, proudu, přepětí a dalších nečekaných událostí.

Řada dobře známých přístrojů, materiálů a senzorů se obvykle používají pro převod zbytkové energie na elektrický proud a napětí, které může být sklizeno, uloženo a přizpůsobeno pro mnoho nízkonapěťové elektroniky a bezdrátové senzorové aplikace, které byly dříve napájeny ze sítě nebo pomocí baterií.

Příkladem energetických generátorů jsou materiály jako piezoelektrické krystaly nebo vlákna kompozitu a elektromagnetické induktory cívek. Tyto materiály generují široké spektrum výstupního napětí a proudu, který nemůže být použit přímo jako zdroj energie pro pohon elektroniky s nízkou spotřebou energie bez EH zařízení vyrobeného za účelem získání dostupné energie, řízení, komunikace a udávání pokynů kompatibilním bezdrátovým senzorovým systémům.

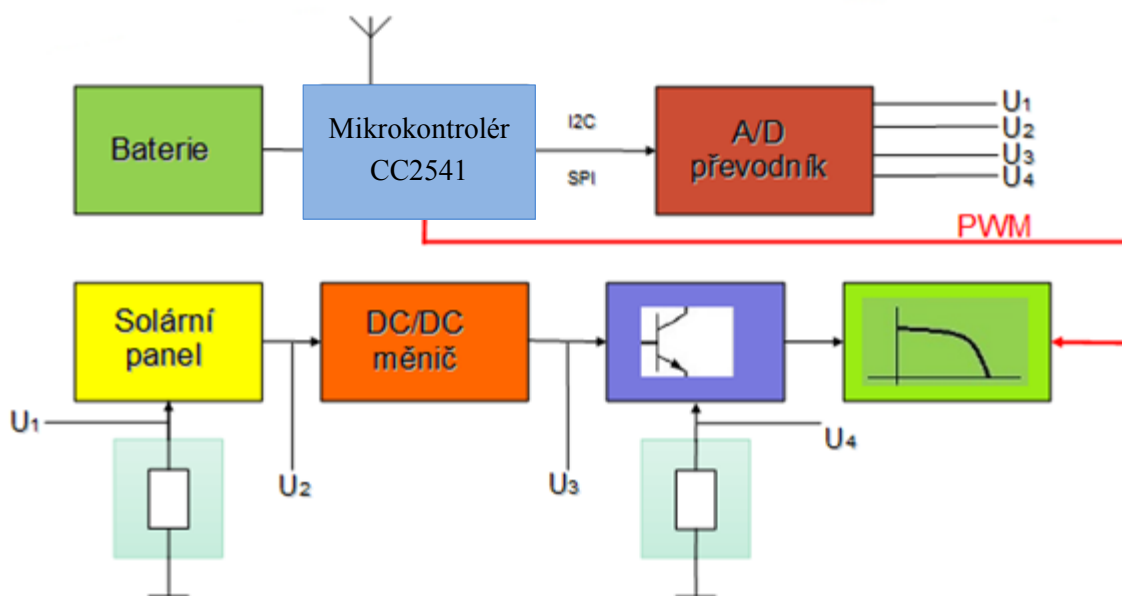
V mnoha případech tyto zdroje poskytují nepravidelné nárůsty nebo velmi nízké množství energie. Poslední vývoj v oblasti MOSFET nízkoprahových tranzistorů katapultovalo EH elektroniku do nových výšin, protože nám umožňují zachycení a ukládání energie do kondenzátoru, superkondenzátoru nebo akumulátorů. Dále umožňují ovládání s velmi vysokou účinností uchování energie. [17]

4.1 Systémy využívající sklizeň energie

Klasické EH přístroje s vysokou účinností obsahují energetický generátor, to je zařízení na zachycení, uchování a práci s energií a musí být navrženy tak, aby byly poháněny sklizenou energií.

Celý obvod EH je složen z modulu pro získávání elektrické energie, mikrokontroléru a někdy se využívá ještě vysokofrekvenční vysílač pro přenos dat. Elektrická energie v úrovni mW je získávána z výše uvedených alternativních nebo „zbytkových“ druhů energie. Energie, kterou získáme, je dále upravena a uložena v bateriích, efektivních a rychle se nabíjejících kondenzátorech nebo v tenkých bateriích, které se momentálně vyvíjejí.

Hlavní součástí je mikrokontrolér, který celý systém řídí. MK se nachází v režimu s nízkou spotřebou a probouzí se jen v určitých intervalech, aby získal hodnoty z připojených senzorů, popřípadě vykonal jiné procesy. Vše vždy probíhá v low power systému. Data, která se získají, jsou po zpracování předána do základové stanice k archivaci. Tento typ EH tak zmenšuje závislost na výkonu napájecí baterie a snižuje potřebnou energii systému. Systémy využitelnými pro EH se zabývá společnost Texas Instruments. [18]



Obr.č. 5 Návrh systému využívající Energy Haversting [vlastní]

4.2 Účinnost

Získávání, akumulace a ukládání malého množství elektrické energie vyžaduje vysokou účinnost. Obvod musí zůstat v aktivním režimu a být připraven provést sběr kdykoliv, kdy je to možné. Přístroj musí být připraven poskytnout sklizenou energii, když si ji aplikace vyžádá.

Například můžeme pomocí obvodu s teplotním čidlem a bezdrátovým vysílačem získat energii potřebnou k napájení při běžné chůzi člověka. Malé energetické množství poskytované z občasné chůze musí napájet obvod v aktivním režimu po delší dobu, než obvodový spínač vysílače pošle teplotní data. Účinnost musí být dostatečně vysoká, aby energie spotřebovaná obvodem byla menší než energie sklizená. [19]

Zdroje energie	Vlastnosti	Účinnost	Využitelnost energie
Světlo	Venku	10-24 %	100 mW/cm ²
	Vevnitř		100 μW/cm ²
Teplo	Lidské	0,1 %	60 μW/cm ²
	Industriální	3 %	1-10 mW/cm ²
Vibrace	Lidé	25-50 %	4 μW/cm ²
	Stroje		800 μW/cm ²
Radiová frekvence	GSM 900 MHz	50 %	0,1 μW/cm ²
	WiFi		0,001 μW/cm ²

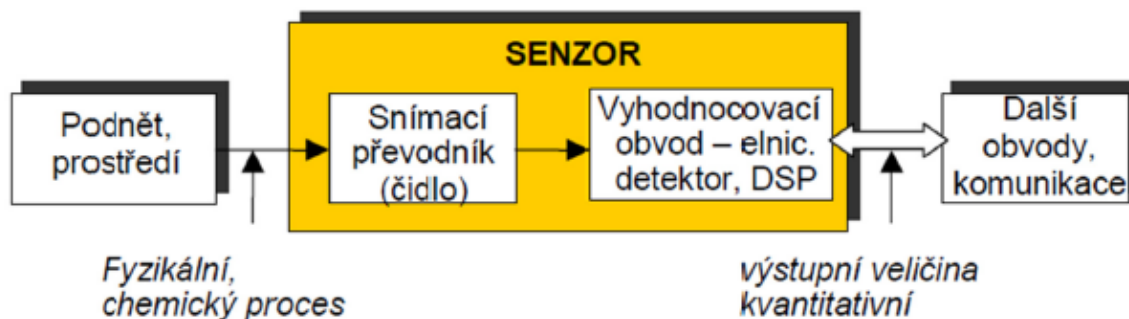
Tabulka. č. 2 Energetické zdroje, jejich základní parametry a účinnost [6]

5. Biometrické/Biotelemetrické senzory

Název senzor pochází z latinského slova sensus. Z technického hlediska může být senzor vnímán jako prostředek k rozšíření informací o fyzikálních veličinách. Je to v podstatě vstupní část měřicího řetězce, který je ve styku s měřeným prostředím. Pojem senzor je totožný s pojmem snímač, převodník nebo detektor.

Pojem snímač není z mechanického hlediska správný, protože nevyznačuje podstatu děje. Snímač nic nesnímá ani nezachycuje. Senzor snímá biologickou, chemickou nebo fyzikální veličinu, následně ji podle zaručeného principu přeměňuje na měřicí elektrickou veličinu. Existují i senzory, ve kterých je neelektrická veličina přeměňována přímo na číslicový signál.

Senzor je definován jako zařízení reagující na subjekt, stav prostředí – měřenou veličinu a převádějící ji na výslednou odezvu nebo informaci – výstupní veličinu. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo a snímá stav sledované veličiny a následně zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Dalšími řídicími obvody zpracujeme kvantitativní elektrický signál, který bude výstupní informací vyhodnocovaného obvodu. U ultrazvukových měničů je nutné zmínit také pojem senzorová pole, která jsou složena z podobných nebo stejných funkcí a struktur. Nesmíme zapomenout na polovodičové senzory, které tvoří významnou skupinu, a to především mikroelektronické senzory. [19]



Obr. č. 6 Měřicí řetězec senzoru [21]

5.1 Rozdělení senzorů

Nejjednodušeji můžeme senzory rozdělit dle typu napájení na pasivní a aktivní. Aktivní senzor se chová jako zdroj elektrické energie, pokud na něj působí snímaná veličina. Může se tak dít u senzorů, které jsou na převodu indukčním, piezoelektrickém a termoelektrickém. Naopak pasivní senzor je senzor, u kterého musíme elektrickou veličinu (odpor, kapacita, indukce) převádět na proudový, napětový nebo analogický signál. Měřicí veličiny jsou fáze, kmitočet, amplituda. Rozdíl mezi pasivním a aktivním senzorem je v napájení. U pasivních je napájení potřebné, u aktivních senzorů nikoliv. Další

způsob rozdělení je podle metody měření, vstupní fyzikální veličiny, dále je můžeme dělit podle styku s měřeným prostředím, nebo podle výrobní technologie. [21]

5.2 Zvažované senzory

5.2.1 Biotelemetrické senzory

Snímač otisku prstu

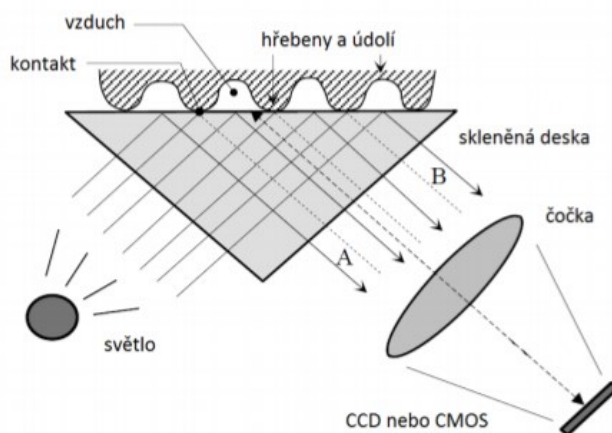
Nejjednodušší a nejpříznivější metodou pro identifikaci člověka na základě jeho biometrických údajů je rozeznávání na základě otisků prstů. V dnešní době má tato metoda široké uplatnění ve sféře přístupových systémů u vstupů do administrativních objektů, klubů s důrazem na bezpečnost, ve školství a ve státní správě. [20]

Princip čtečky otisku prstů je založen na principu snímání a porovnávání otisku prstu identifikované osoby. Zaručuje neměnnost identifikace konkrétní osoby, protože porovnávané znaky otisku prstu jsou u každého člověka jedinečné. V přístupových systémech s identifikací osob pomocí otisků prstů odpadá použití jakýchkoliv karet nebo čipů. Na rozdíl od karet a čipů nehrozí ztráta nebo záměna.

Existují dva typy senzorů pro otisky prstu:

- kontaktní (optické, elektronické, optoelektronické, kapacitní, tlakové, teplotní)
- bezkontaktní (optické, ultrazvukové)

V případě kontaktních senzorů je technologie založena na fyzikálních metodách a poznatcích v oblasti elektrických vlastností kůže. U bezkontaktních metod se jedná zejména o využití optiky nebo ultrazvuku. Opticky sejmутý daktyloskopický otisk je pro další počítačové zpracování digitalizován. Každý digitalizovaný obraz otisku prstů má nezanedbatelnou binární velikost. Nasnímaný obraz často obsahuje i nežádoucí šum, cílem je tyto rušivé elementy co nejvíce potlačit a usnadnit tak následné zpracování a zvýšit přesnost výstupu. Spotřeba energie je 1-2 W. [22]



Obr. č. 7 Princip optického snímače [19]

Senzor rozeznávání oční duhovky

Biometrické systémy pro rozpoznávání duhovky jsou relativně nově vyvinuté. Jde však o nejlepší metodu pro ověřování identity, jaká je v dnešní době k dispozici. Jedná se o spolehlivou metodu ověřování identity na základě jedinečné reakce oční duhovky na vyzařované světlo. Vzhled oční duhovky je velmi nahodilý s fyzickou strukturou extrémně bohatou na datové vzory, které se liší člověk od člověka, a to dokonce i u jednovaječných dvojčat. Duhovka obsahuje specifické unikátní identifikační body, které umožňují s vysokou přesností stanovit identitu člověka. Snímání duhovky probíhá pomocí standartní videotechnologie. Velkou výhodou při skenování duhovky na rozdíl od sítnice je to, že se jedná o bezkontaktní metodu, která je rychlá a nabízí bezkonkurenční přesnost při srovnání s jinou bezpečnostní alternativou ze vzdálenosti 7 až 25 cm. Spotřeba je přibližně 13 W.



Obr č. 8 Proces rozpoznávání uživatele pomocí oční duhovky [19]

Rozeznávání hlasu

Technologie se zakládá na odlišnostech vokálního traktu jednotlivých uživatelů. Aby byl hlasový otisk dostatečně odlišný, to způsobuje tvar a rezonance ústní dutiny, hlasivek, jazyka a zubů. Rozpoznávání mluvího (verifikace a identifikace) – spočívá v ověření totožnosti mluvího na základě vyřčeného textu. Prvním krokem pro verifikaci hlasu je pořízení jeho záznamu. Ten můžeme pořídit i klasickým mikrofonom.

Délka zpracovaného vzorku hraje velmi významnou roli. Více informací poskytuje vyšší kvalitu srovnávacího procesu. Dalším krokem je předzpracování, které je velmi složité a využívá se zde několika filtrů. Po předzpracování dochází k extrakci důležitých rysů. Takové informace popisují jedinečné vlastnosti vokálního traktu a tvoří biometrický vzorek. Takovému vzorku se říká „otisk hlasu“. Ten už může být porovnán s databází. Problém u této metody je, že mnohdy jedinec nespolupracuje, mění záměrně hlas nebo je jeho hlas změněn následkem změny zdravotního stavu. Spotřeba 5-15 mW záleží na vzdálenosti (prostupnost přes materiál). [19]

Biometrika	Přesnost	Cena	Proměnlivost V čase	Uživatelská nepříjemnost	Celkem
Otisk prstu	●●●	●○○	●○○	●●○	●●●
Geometrie ruky	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○
Rozpoznávání obličeje	●●○	●●○	●●○	●○○	●●○
Oční duhovka	●●●	●●●	●○○	●○○	●●●
Oční sítnice	●●●	●●●	●●○	●●●	●●○
Lůžko nehtu	●●●	●●○	●●○	●●○	●●○
DNA	●●●	●●●	●○○	●●●	●●○
Ověřování hlasu	●○○	●○○	●●●	●○○	●●○
Dynamika podpisu	●○○	●○○	●●○	●○○	●●○
Dynamika stisku kláves	●●○	●○○	●○○	●○○	●●○
Hodnota	Nízká ●○○		Střední ●●○		Vysoká ●●●

Tabulka č. 3 Výčet hlavních biometrik s jejich vlastnostmi [21]

5.2.2 Biometrické senzory

Senzor pro neinvazivní měření EKG

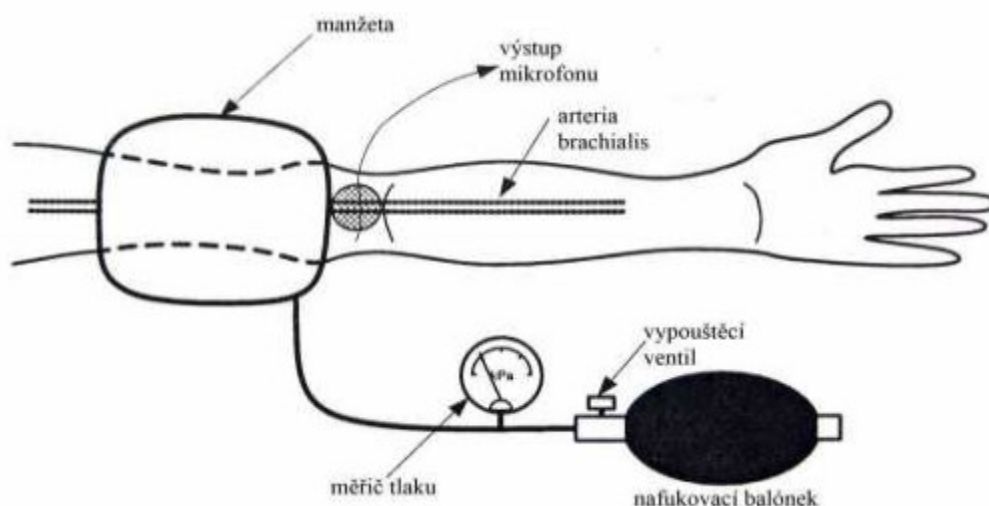
Elektrokardiogram je záznam časové změny elektrického potenciálu způsobeného srdeční aktivitou. Tento záznam je pořízen elektrokardiografem. Elektrokardiografie je standardní neinvazivní metoda vyšetření funkce elektrické aktivity myokardu. Oproti CNS vykazuje práce srdce daleko větší synchronicitu a periodicitu. Signál je šířen poměrně snadno z myokardu všemi směry do celého těla, aniž by byl výrazně zeslabován. EKG signál je proto zaznamenáván v poměrně velké amplitudě

(jednotky až desítky mV) prakticky na libovolném místě na povrchu těla. EKG senzor měří elektrické signály aktivity srdečního svalu. Změny elektrického potenciálu jsou také graficky vyhodnocovány typickými aplikacemi pro porovnávání srdečních křivek různých testovaných osob a dále před a po tělesné námaze. Spotřeba je u tohoto senzoru v řádech stovek mW. [22]

Krevní tlak – senzor tlaku

Přístroje, které měří tlak, se obecně nazývají tlakoměry. Podle funkčního principu se dělí na kapalinové tlakoměry, pístové zvonové tlakoměry, deformační tlakoměry, elektrické tlakoměry. V biomedicině nejpoužívanější senzor tlaku je tlakoměr. Měřenou hodnotou je krevní tlak. Je to také nejčastěji snímaná biologická veličina. Je to dobrý ukazatel celkového stavu kardiovaskulárního systému. Stahem srdečního svalu vznikne tlaková síla, kterou je krev vypuzována do aorty a plicnice a která překonává odpor periferního cévního řečiště. Krevní tlak s činností srdce kolísá mezi dvěma mezemi, tlakem systolickým (maximální tlak při systole komor) a diastolickým (nejnižší tlak při diastole srdečních komor). Podle místa měření rozlišujeme tlak centrální a periferní, arteriální a venózní. Centrální tlak se měří přímo v srdečních komorách, zatímco periferní v končetinách. Nejčastěji se měří tlak neinvazivně pomocí manžety na levé paži, kde je tlak nejpresnější.

Pro měření tlaku se používá několik metod. Všechny jsou založeny na principu omezení průtoku krve manžetou v končetině a nepřímě se zde měří tlak porovnáním tlaku v manžetě a tlaku v krevním řečišti. Tento tlak vyvolávající pohyb pod manžetou je převáděn na měnicí se výstupní napětí, které připojené rozhraní přepočítává na krevní tlak. Tato metoda se jmenuje oscilometrická. Mezinárodně používanou jednotkou krevního tlaku je mmHg, milimetr sloupce rtuti. Průměrná spotřeba senzoru je méně než 10 nW. [22] [23]



Obr. č. 9 Měření krevního tlaku auskulační metodou. [22]

Oxymetrie, měření SPO_2

Pulzní oxymetrie využívá dva základní principy: charakteristická absorpční spektra derivátů hemoglobinu, přítomných v krvi v nejvyšší koncentraci (oxyhemoglobin a deoxyhemoglobin) a kolísání objemu arteriální krve v průběhu činnosti srdce. Pulzní oxymetry jsou jednoduchá zařízení, která se připevňují na dobře prokrvená místa, nejčastěji na prst nebo ušní lalůček pacienta.

Hlavní součástí přístroje je sonda, v níž jsou zabudovány zdroje světelného záření a detektor záření. Světelný zdroj je tvořen dvěma elektroluminiscenčními diodami (LED) emitujícími světlo při 660 nm (červené světlo) a 940 nm (blízké infračervené světlo). Volba vlnové délky světla, při které je měřena absorbance, vychází z absorpčních spekter oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu. Při těchto dvou vlnových délkách je mezi spektry oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu největší rozdíl. V oblasti 660 nm výrazněji absorbuje deoxyhemoglobin. Při 940 nm je tomu naopak – více absorbuje oxyhemoglobin. Dalším důvodem pro výběr těchto vlnových délek je jejich dobrá průchodnost tkáněmi.

Světlo emitované diodami prochází tkáněmi a prošlé světlo je snímáno fotodiodou. Při průchodu světla dochází k jeho absorpci, na které se podílejí tkáně, jako je kůže, pojivová tkáň, kosterní svaly, popř. kost a dále žilní a kapilární krev. Pro výpočet SPO_2 je zapotřebí, aby byla rozlišena absorbance, která je způsobena arteriální krví, od absorbance, na níž se podílí venózní krev a další tkáně. Rozlišení těchto dvou složek absorbance umožňuje skutečnost, že v důsledku činnosti srdce se pravidelně mění objem arteriální krve projevující se její pulzací. Přístroj je schopen tyto změny zachytit a změřit tuto tzv. pulzující složku absorbance. Tvoří asi 1–5 % celkové absorbance. Druhá složka celkové absorbance, tzv. statická složka absorbance, zůstává v čase konstantní. Spotřeba je přibližně od 7 mW do 10 mW. [20]

6. Přenos dat rozhraním Bluetooth, ZigBee, GSM

6.1 Bezdrátové komunikační rozhraní

Bezdrátový přenos informací obstarávají elektromagnetické přenosové cesty pomocí elektromagnetických vln, které jsou při přenosu využívány. Přenosová cesta je tvořena těmito prvky - vysílač, vysílací anténa, přijímací anténa a přijímač. Bezdrátové přenosové cesty se dají taky označit jako „Množství vyjádřené energie za jednotku času závisí na rychlosti změny proudu obvodu vysílače“. K vyzařování dochází pouze u střídavých proudů. Pro využití v praxi mají význam pouze vysoké proudy o frekvenci vyšší než kHz. Pokud je frekvence nižší, vyzařování je zanedbatelné.

Rádiové vlny	Délka vlny λ [m]	Kmitočtový rozsah [Hz]
Dlouhé vlny	>3000	10^5
Střední vlny	300 až 200	10^5 až $1,5 \cdot 10^5$
Krátké vlny	50 až 10	$1,5 \cdot 10^5$ až $30 \cdot 10^6$
Velmi krátké vlny		
Metrové vlny	10 až 1	$30 \cdot 10^6$ až $300 \cdot 10^6$
Decimetrové vlny	1 až 0,1	$300 \cdot 10^6$ až $3 \cdot 10^9$
Centimetrové vlny	0,1 až 0,01	$3 \cdot 10^9$ až $30 \cdot 10^9$
Milimetrové vlny	0,01 až 0,001	$30 \cdot 10^9$ až $300 \cdot 10^9$

Tabulka č.4 Dělení elektromagnetických vln [6]

V tabulce můžeme vidět dělení elektromagnetických vln používaných pro přenos na vlnové délky podle frekvenčního rozsahu. Pravidelné nebo i nahodilé změny parametru prostředí ovlivní elektromagnetické vlny a způsobí jejich lom, odraz, ohyb nebo útlum. Přičemž lom a odraz vznikají při změně permitivity prostředí, ohyb a rozptyl vznikají na vodivých překážkách, podle srovnání rozměru překážky s délkou vlny.

Velmi krátké vlny kratší než 100 m zaujímají dosti široké kmitočtové pásmo. Proto je možné vytvořit bez vzájemného rušení velký počet kanálů. K přenosu stačí nižší výkon, antény mají malý rozměr, zařízení zabírají málo místa. [6]

6.2 Bluetooth

Bluetooth slouží k bezdrátové komunikaci propojující dvě a více elektronických zařízení jako například mobilní telefon, PDA, osobní počítač nebo bezdrátové sluchátka. Vytvořen byl v roce 1994 firmou Ericsson jako bezdrátová náhrada za sériové drátové rozhraní RS-232. Dále v roce 1998 byla

pěti firmami založena Bluetooth Special Interest Group. První hodnotnou specifikaci pak BSIG uveřejnilo na verzi 1.0a v červnu roku 1999. Tato technologie si okamžitě našla oblibu nejen u běžných uživatelů, ale i u mnoha průmyslových aplikací. Podle odhadů se během deseti let vyrobilo více než 1,5 miliardy čipů Bluetooth. Nyní se BSIG snaží aktualizovat, aby jí zajistili slušné umístění při prosazování mezi všemi bezdrátovými technologiemi.

Výhody:

- Bluetooth 4.0 je verze s dosahem až 100 m.
- Další výhodou tohoto typu je i nižší spotřeba energie a lepší šifrování. Nezměnila se jen přenosová rychlost, která zůstala stejná jako u Bluetooth 3.0 (24 Mb/s)
- Používání Bluetooth 4.0 nevybije mobilní zařízení tak rychle jako starší rozhraní a bude implementováno i do menších přístrojů.
- Nový standart podporuje šifrování AES-128 a slibuje nižší odezvu. Bude proto vhodnější pro uživatele.

Verze 4.0 nemá nahradit verzi 3.0, klíčovou vlastností nové specifikace je nízkoenergetická náročnost vhodná pro zařízení nepotřebující vysoké datové toky. Zvýší se životnost na jedno nabití baterie. Funguje už od 100 mW. Největší spotřeba proudu je obvykle 25 mA. [24]

Verze	Rychlost přenosu dat	Maximální propustnost
1.2	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s
2.0	3 Mbit/s	1,4 Mbit/s
3.0	24 Mbit/s	
4.0	24 Mbit/s	

Tabulka č. 5 Přehled přenosových rychlostí u Bluetooth.

6.3 Zigbee

Zigbee je pouze standartní bezdrátová technologie navržena tak, aby vyhověla potřebám nízko cenových a nízko spotřebních bezdrátových senzorů.

Výhody:

- Snadná implementace a široké použití.
- Nízká spotřeba energie, možnost rozšířit portfolio oborů, které by jej využívalo, také inovace na stávajících trzích je neomezená.
- Nízká spotřeba je lehce dosažena využitím metody radiového přenosu v rozprostřeném spektru (DSSS), technologie Bluetooth využívá frekvenčních skoků (FHSS).
- Zařízení může přejít do hibernace. Tím se rozumí stav, kdy modul naslouchá, tím sníží spotřebu na 1 až 2 μ A, Bluetooth potřebuje 100 μ A.
- Komunikace Zigbee má dosah až 100 m a používá 2,4 GHz rádiové frekvence. [25]

Pásmo	Počet kanálů	Přenosová rychlost	Max. doba trvání
868MHz	1	20kbit/s	53,2ms
915MHz	10	40kbit/s	26,6ms
2,4GHz	16	250kbit/s	4,25ms

Tabulka č. 6 Charakteristické vlastnosti Zigbee

6.4 WiFi

Je to nejrozšířenější a v domácnostech často nejdostupnější technologie. Signál WiFi dosahuje i několik set metrů od primárního zařízení. Označení WiFi mají výrobky, které pracují podle standardu 802.11 a/b/g/n. Nyní existuje více variant sítí WiFi a nové se stále vyvíjejí. Všechny sdílí stejný protokol, liší se pouze řešením fyzické vrstvy. [26]

Standart	Pásmo (GHz)	Přenosová rychlost (Mbit/s)
802.11	2,4	2
802.11a	5	54
802.11b	2,4	11
802.11g	2,4	54
802.11n	2,5-5	600

Tabulka č. 7 Rozdělení standart 802.11[6]

6.5 GPRS/GSM

General Packet Radio Service (GPRS) je služba umožňující přenos dat a připojení k Internetu, popřípadě k jiným sítím, pro uživatele GSM mobilních telefonů. Technologie GPRS je řešení speciálně pro prostředí digitálních mobilních sítí. Usiluje o efektivnější využití jejich přenosových okruhů a lepší přizpůsobení požadavkům jejich aplikací a uživatelů. Samostatné mobilní sítě u nás nazývané GSM fungují na principu přepojování okruhů. Je to dáno jejich původem. Tyto sítě byly dříve určené pro přenos hlasu. V případě, že sítě nabízí možnost přenosu dat v rámci svých „datových“ služeb, označovaných jako CSD (Circuit Switched Data), pak se jedná o úplně stejný způsob fungování jako při přenosu hlasu, pouze s jedním rozdílem, že přenášená data nemají význam zdigitalizovaného lidského hlasu, ale jsou to obecné, uživatelem generované data. [35]

Dostupnost GPRS je nazývána jako „2.5G“, technologie mezi druhou (2G) a třetí (3G) generací mobilních telefonů. GPRS poskytuje průměrnou rychlost datových přenosů používáním časových slotů v GSM síti.

GPRS využívá čtyři kódová schémata CS-1 až CS-4. Mobilní telefon musí vždy podporovat všechna čtyři kódová schémata. GSM síť obvykle podporuje CS-1 a CS-2. Někteří čeští operátoři např. T-Mobile a Vodafone podporují všechna kódová schémata CS-1 až CS-4. Tím je zajištěn co nejlepší a nejefektivnější přenos dat, protože kódové schéma se vybírá v závislosti na odstupu signál/rušení tedy tzv. C/I. [27]

6.6 Porovnání

Pro můj projekt budu porovnávat 4 přenosové systémy a tím jsou Zigbee, Bluetooth 4.0., WiFi a GSM/GPRS.

	Rychlost přenosu	Dosah	Odezva	Sleep mode	Kmitočtové pásmo	Typ použité modulace
Bluetooth 4.0	24Mbit/s	až 150m*	3ms	1uA	2400	GFSK
ZigBee	25kbit/s	100m	4,25ms	1-2uA	868 (EU)	BPSK
Wifi	600Mbit/s	300m	40ms		2500-5000	
GSM/GPRS	6,7-16,7 kbit/s	100m	60ms			

*Až 150 m volného prostoru.

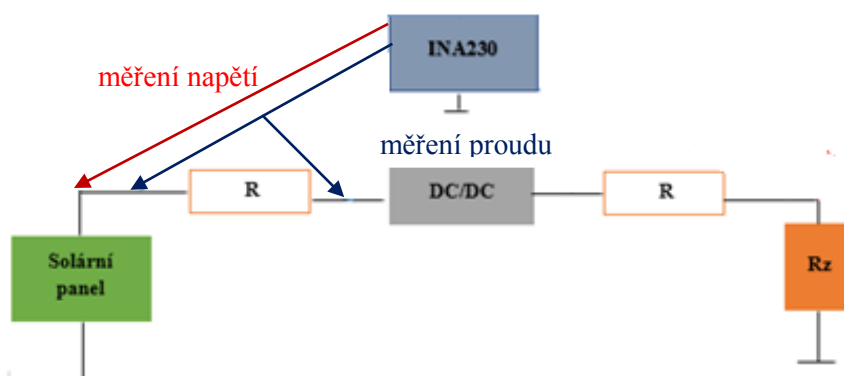
Tabulka č. 8 Podrobné srovnání Bluetooth, Zigbee, WiFi a GSM/GPRS [28] [29] [30]

7. Návrh a realizace měřících obvodů

Praktická část mé bakalářské práce se zabývá měřením napětí a proudu v obvodu, který napájí biometrický nebo biotelemetrický senzor ze solární energie. Za tímto účelem byl sestaven měřící obvod, díky kterému zjistíme, kolik energie můžeme vytěžit ze dvou monokrystalických článků, které jsou dostatečně malé, aby byly mobilní.

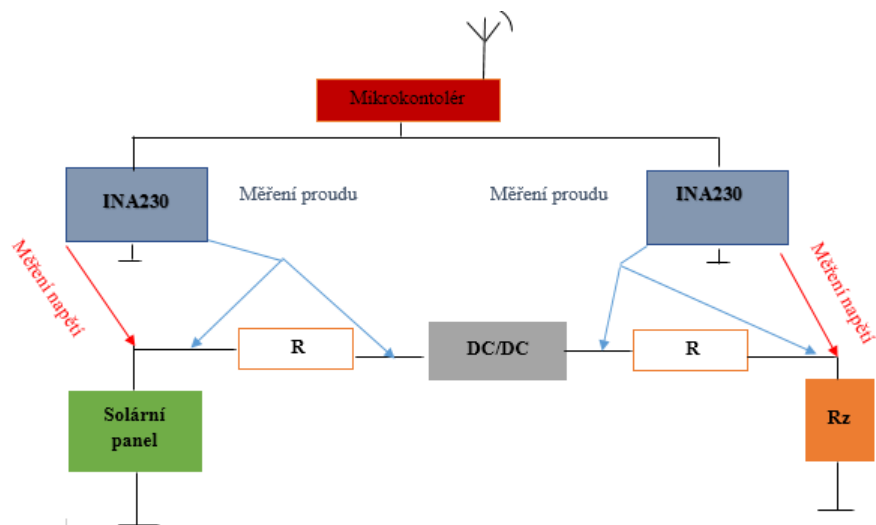
Byly navrženy, vyrobeny a sestaveny dva měřící obvody. Základem obou obvodů je A/D převodník INA230, který měří současně napětí a proud na bočníku a vypočítává z těchto naměřených hodnot výkon. Dalšími částmi jsou bočník, filtr, tranzistor a dva solární články - zdroje alternativní energie. Obvody se liší pouze způsobem komunikace. První obvod komunikuje přes I²C s počítačovým zařízením. Druhý obvod může komunikovat stejným způsobem nebo přes Bluetooth 4.0.

Obvod č. 1 je složen z převodníku INA230, filtru, tranzistoru, bočníku, modulu UM232H-B, který zajišťuje komunikaci v I²C rozhraní, a solárních článků.



Obr. č. 10 Schéma měření napětí a proudu, obvod č. 1

Obvod č. 2 je sestaven z mikrokontroléru CC2541, napájecí baterie, dvou převodníků INA230, filtru, tranzistoru, DC/DC měniče, bočníku, anténní části s Bluetooth 4.0 nebo modulu UM232H-B a solárního panelu, který je měřeným objektem.



Obr. č.11 Schéma měření napětí a proudu, obvod č. 2

7.1 Převodník INA230

K tomu, aby bylo možné hodnoty napětí a proudu naměřit, musel být vybrán vhodný převodník. V tomto případě byl zvolen A/D převodník INA 230 od americké značky Texas Instruments. INA230 je digitální monitorovací zařízení pro sledování proudu, napětí a spotřeby s I²C rozhraním pro důmyslně řešené systémy - nejčastěji Energy Harvesting.

Měří napětí na sběrnici od 0 V do +28 V a High- or Low-side snímání. Tyto vlastnosti jsou pro naše měření a komunikaci podstatné. Programovatelné registry umožňují flexibilní konfiguraci naměřených veličin, stejně tak jako kontinuální nebo přerušovaný provoz, který příznivě ovlivňuje spotřebu. Zařízení dokáže také změřit napájecí napětí sběrnice po připojení tohoto napětí k pinu BUS.

7.1.1 Princip měření

INA230 provádí kontinuálně dvě měření napájecího napětí a proudu. Napětí úměrné proudu tekoucím obvodem přes bočník vytváří bočníkový napěťový signál, který je měřený na vstupech IN+ a IN- pinu. Rozdílné napětí na bočníku je měřeno vzhledem k IN- pinu, zatímco BUS napětí je měřeno vzhledem k zemi.

INA230 je obvykle napájen ze samostatného zdroje, který se pohybuje v rozmezí od 2,7 V do 5,5V. Vstupní napětí, které je měřeno, může dosahovat hodnot v rozmezí 0 V až 28 V. Reálné napětí, které je přivedeno na vstupní piny INA230, by nemělo překročit 28 V. To v našem případě určitě nenastane.

Dále nejsou kladeny žádné speciální nároky na napájení, protože vstupní rozsah běžného režimu a napájecího napětí jsou na sobě nezávislé. Díky tomu může být BUS napětí přítomné, i když není napájen a naopak.

7.1.2 Režimy a nastavení registrů

INA230 provádí dvě měření – napětí na bočníku a na sběrnici. Tyto měření pak převádí na proud na základě hodnoty nastavené v Calibracion (kalibračním) registru a z toho se potom vypočte i výkon. INA230 má dva provozní režimy - kontinuální, který běží stále a Trigger režim, který se spustí jen ve chvíli, kdy má být provedeno měření.

Když INA230 je v kontinuálním provozním režimu, znamená to, že je MODE bit v konfiguračním registru nastaven na „111“, nepřetržitě se mění čtení hodnot napětí na bočníku a napětí na sběrnici.

Po načtení hodnot napětí na bočníku, se vypočítá hodnota proudu na základě rovnice:

$$I_{LSB} = \frac{I_{MAX}}{2^{15}} \quad (4)$$

Kde: I_{LSB} – rozlišení proudu
 I_{MAX} – maximální reálný proud

Tato hodnota proudu je dále použita pro výpočet výsledného výkonu pomocí rovnice:

$$Výkon = \frac{I_{PRŮM} * U_{VSTUP}}{20000} \quad (5)$$

Kde: $I_{PRŮM}$ – průměrný protékající proud
 U_{VSTUP} – vstupní napětí

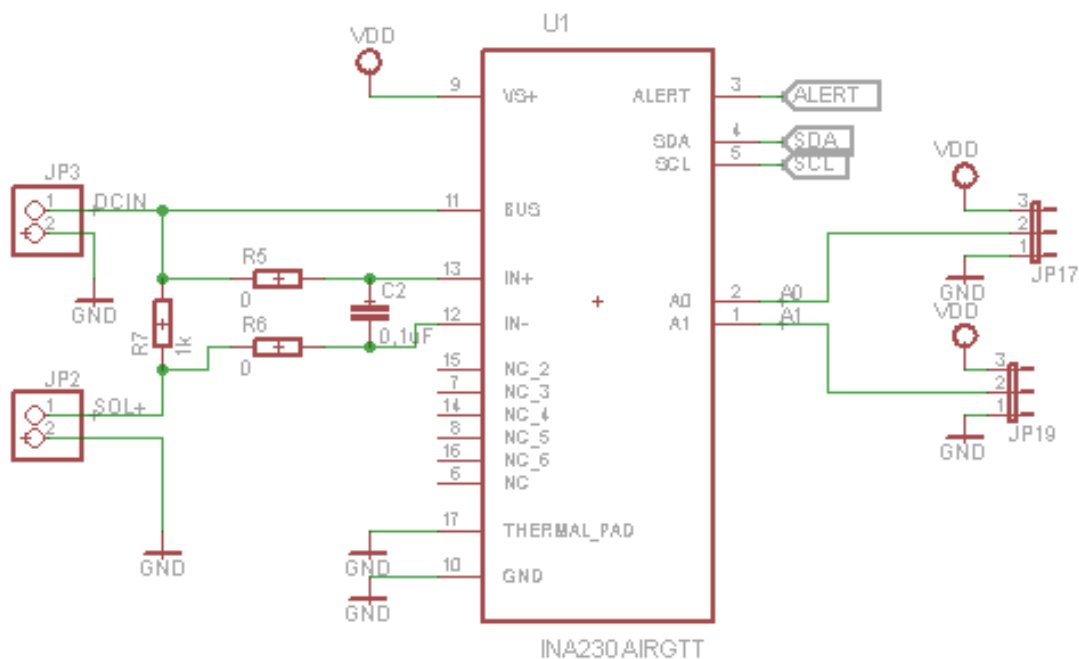
Tyto hodnoty jsou následně uloženy v akumulátoru a série měření a výpočtu se opakuje dle nastavení konfiguračního registru. Výpočty proudu a výkonu jsou založeny na hodnotě, která je naprogramována v Calibration registru. V případě že by nebyl naprogramován Calibration registr, výsledkem měření by byly nuly.

Po každé sérii naměřených a vypočtených hodnot jsou tyto hodnoty připojeny k dříve nashromážděným hodnotám. Po zprůměrování všech získaných hodnot jsou všechny konečné hodnoty pro napětí na bočníku, napětí na sběrnici, proudu a výkonu aktualizovány v příslušných registrech a pak mohou být načteny. Tyto hodnoty zůstávají ve výstupních datech registrů, dokud nebudou nahrazeny dalšími převedenými daty. Na čtení dat z výstupních registrů nemá vliv převod dat, který stále probíhá na pozadí.

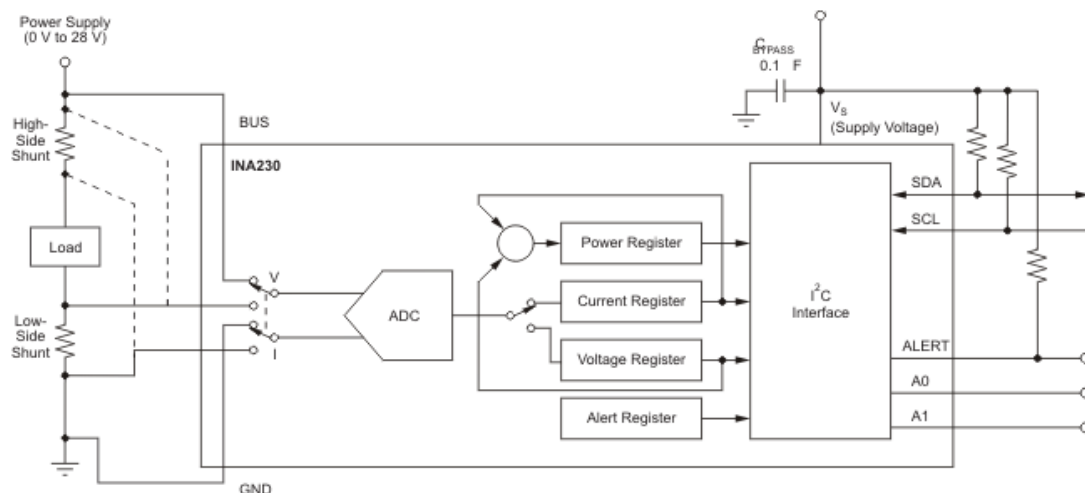
V Configuration registru lze nastavit, aby bylo převedeno pouze buď napětí na bočníku nebo napětí na sběrnici. Všechny výpočty hodnot proudu a napětí jsou prováděny na pozadí a nepřipočítávají se do doby převodu. [32]

V Trigger režimu musí být registr nastaven na některý z Trigger módu - „001“, „010“ nebo „011“, které spustí jednorázový přepočet. Registr Configuration musí být znovu napsán i v případě, že se mód nezmění.

Kromě dvou provozních režimů (kontinuální a Trigger) může přejít INA230 taky do režimu spánku, což sníží spotřebu energie pro chvíle, kdy INA230 není používána. Úplné zotavení z režimu spánku trvá asi 40 ms. V režimu spánku lze do registrů zapisovat i číst z nich. INA230 se udržuje v režimu spánku, dokud jeden z aktivních módů není zapsán do Configuration registru.



Obr. č. 12 Schéma zapojení INA230 (vlastní)



Obr. č. 13 Blokové schéma mikrokontroléru INA 230. [32]

7.1.3 Programování

Důležitým aspektem INA230 je, že nemusí nutně měřit proud nebo výkon. INA230 měří obě rozdílné napětí mezi IN+ a IN- vstupní piny a napětí k BUS pinu (napětí na sběrnici). Aby převodník INA230 sledoval obě napětí a hodnoty napájení a to jak rozlišení Current (proudového) registru, tak hodnotu odporu bočnicku, musí být naprogramován. Power (výkon) registr je vnitřně nastaven na 25 násobek LSB. Hodnota I_{LSB} tak i hodnota odporu bočnicku jsou použity při výpočtu hodnoty Calibration registru. INA230 využívá tuto hodnotu k výpočtu odpovídající hodnoty proudu a výkonu na základě naměřeného napětí na bočnicku a napětí na sběrnici.

Výpočet hodnoty pro kalibrační registr je založen na této rovnici:

$$R_B = \frac{U_{MAX}}{I_{MAX}} \quad (2)$$

Kde: R_B – odpor bočnicku

U_{MAX} – maximální napětí na bočnicku

I_{MAX} – maximální předpokládaný proud

$$CAL = \frac{0,00512}{I_{LSB} \cdot R_B} \quad (3)$$

Kde: I_{LSB} – rozlišení proudu
 R_B – odpor bočníku

Tato hodnota je použita pro přepočtení naměřené hodnoty v Current registru na hodnotu proudu. Proud tímto způsobem přepočtený je v jednotce A (Ampér). Nejvyšší hodnoty rozlišení Current registru lze dosáhnout nejmenším přípustným I_{LSB} při maximálním očekávaném proudu. Jak je uvedeno v rovnici:

$$I_{LSB} = \frac{I_{MAX}}{2^{15}} \quad (4)$$

Kde: I_{LSB} – rozlišení proudu
 I_{MAX} – maximální předpokládaný proud

Jakmile tato hodnota dosáhne nejvyššího možného rozlišení, je na řadě vybrat hodnotu I_{LSB} co nejbližší číslu nad vypočtenou hodnotou. Nejedná se o klasické zaokrouhlení. Například, pokud bude výsledkem $I_{LSB} = 1,4 \mu A$, zvolíme hodnotu $2 \mu A$. Toto se dělá pro zjednodušení přepočtu v Current a Power registru na Ampéry a Watty, v pořadí jak jsou uvedeny.

Odpor bočníku je hodnota vnějšího bočníku použitého k vytvoření diferenčního napětí na vstupních pinech. Hodnota 0,00512 v rovnici:

$$CAL = \frac{0,00512}{I_{LSB} \cdot R_B} \quad (5)$$

Kde: CAL – hodnota pro nastavení kalibrace
 I_{LSB} – rozlišení proudu
 R_B – odpor bočníku

CAL je interní pevná hodnota, která slouží k udržení požadovaného měřítka. Až je naprogramován Calibration registr, tak je aktualizován Current a Power registr na základě měření proudu na bočníku a napětí na sběrnici I²C. Do té doby zůstávají proudové a výkonové registry na nule.

7.1.4 Výpočty pro nastavení registrů INA230: [32]

$$R_B = \frac{U_{MAX}}{I_{MAX}} = \frac{0,08}{0,65} = 1,23 \Omega \quad (2)$$

$$CAL = \frac{0,00512}{I_{LSB} \cdot R_B} = \frac{0,00512}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,23} = 2081,301 \quad (3)$$

$$I_{LBS} = \frac{I_{MAX}}{2^{15}} = \frac{0,65}{2^{15}} = 2 \mu A \quad (4)$$

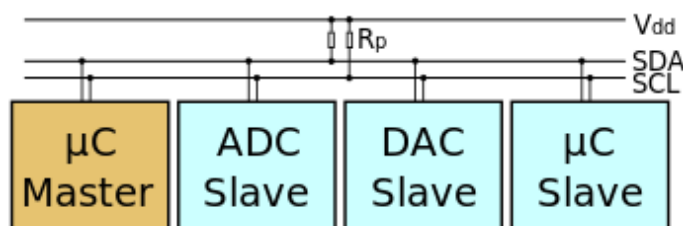
$$Výkon = \frac{I_{PRŮM} \cdot U_{VST.}}{20000} = \frac{0,42 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{20000} = 0,021 \mu W \quad (5)$$

7.1.5 Komunikace

INA230 nabízí kompatibilitu s I²C rozhraním. I²C je multimasterová počítačová sběrnice vyvinutá firmou Philips, která je používána k připojení nízkorychlostních periférií k základní desce, vestavěnému systému nebo mobilnímu telefonu.

Sběrnice rozděluje připojená zařízení na řídící – master a řízené – slave. Master zahajuje a ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál SCL. Slave je zařízení adresováno masterem.

I²C rozhraní umožňuje připojení až 128 různých zařízení s pomocí pouze dvou obousměrných vodičů. Jeden tvoří hodinový signál SCL (Synchronous Clock) a druhý datový kanál SDA (Synchronous Data). Z elektrického hlediska jsou oba kanály zapojeny jako otevřený kolektor. Maximální délka vodičů je dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400 pF. Každý vodič musí být připojen jedním pull-up rezistorem ke kladnému napětí, což zajistí vysokou úroveň v klidovém stavu. Při probíhající přenosu jsou na SDA vysílány jednotlivé datové bity, přičemž platí pravidlo, že logická úroveň na SDA se smí měnit pouze je-li SCL v úrovni L. Toto pravidlo je porušeno ve dvou speciálních případech, a to při vysílání podmínek START a STOP, které se používají k zahájení komunikace a k ukončení přenosu.



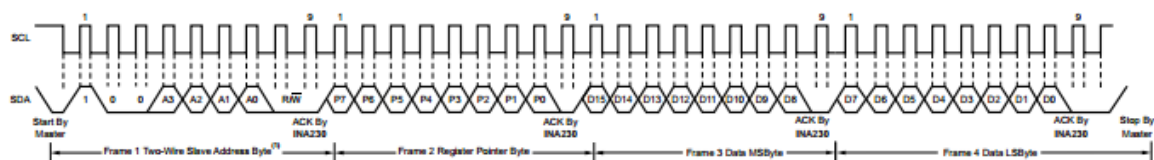
Obr. č. 14 Základní zapojení I²C

Přenos dat se zahajuje START bitem, když je SDA nízká, zatímco SCL zůstává vysoká. Pak SDA nastaví přenášený bit, zatímco SCL je nízká a jsou odebrány vzorky dat (přijaté) při stoupající SCL. Když je přenos dokončen, je poslán STOP bit pro uvolnění datové linky změnou SDA na vysokou, zatímco SCL je trvale vysoká. Aby se zabránilo falešné detekci, je úroveň na SDA změněna na negativní hraně a je zachycena na kladné hrany SCL.

Každému přenosu předchází vyslání podmínky START. Potom je vysílána 7 bitová adresa příjemce a jeden bit R/W, který indikuje požadovanou operaci (čtení/zápis). Další bit ACK je vyslán s úrovní H a je určen k potvrzení přijímací stanice o připravenosti přijímat. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Po ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP.

Každá stanice připojená na I²C má přidělenou 7 bitovou adresu. Po zachycení podmínky START porovnávají všechny obvody svou adresu s adresou, kterou vysílá na sběrnici. Zjistí-li některý z obvodu shodu, je vysílání určeno právě jemu a musí přijetí adresy potvrdit ACK. Potom přijímá nebo vysílá další data. Několik adres na I²C je vyhrazeno pro speciální účely.

Každý vysílaný byte a vyslána adresa je následována vysláním jednoho bitu ACK. Vysílající stanice jej vysílá v úrovni H (high). Přijímající stanice potvrzuje přijetí tím, že v době vysílání ACK připojí SDA na úroveň L (low). Pokud vysílající stanice nedostane potvrzení příjmu, ukončí vysílání podmínkou STOP. [31]



Obr. č. 15 Sekvence přenosu dat [31]

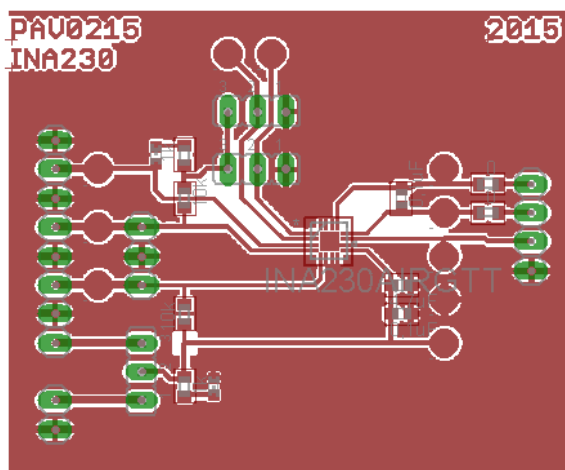
A1	A0	SLAVE ADDRESS
GND	GND	1000000
GND	V _S	1000001
GND	SDA	1000010
GND	SCL	1000011
V _S	GND	1000100
V _S	V _S	1000101
V _S	SDA	1000110
V _S	SCL	1000111
SDA	GND	1001000
SDA	V _S	1001001
SDA	SDA	1001010
SDA	SCL	1001011
SCL	GND	1001100
SCL	V _S	1001101
SCL	SDA	1001110
SCL	SCL	1001111

Tabulka č. 9 Adresy pinu a slaves [32]

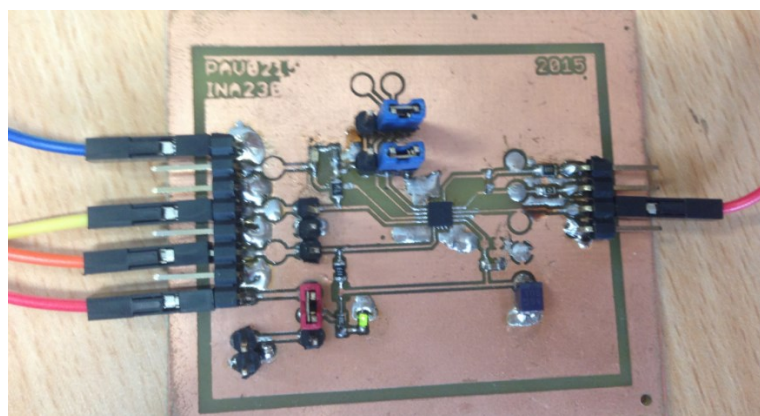
7.1.6 Návrh a výroba desky plošného spoje

Po teoretických přípravách byly vytvořeny dvě desky plošného spoje, které obsahují převodníky INA230.

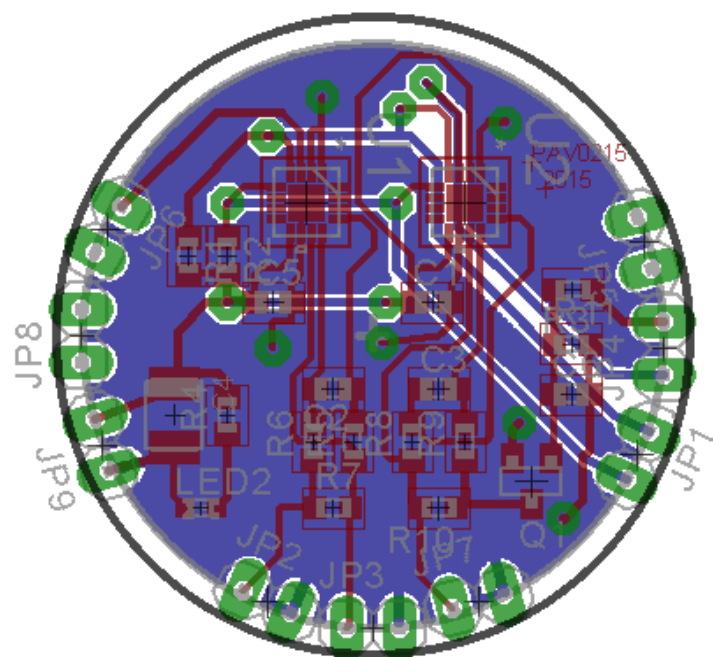
Nejdříve byly připraveny návrhy desek plošného spoje v programu Eagle 6.5.0, byly vytištěny filmové předlohy a nanesen fotocitlivý lak. Pak byly použity dva roztoky – NaOH byl potřeba pro vyvolání fotocitlivého laku a roztok FeCl_2 byl použit na odleptání měděné plochy z DPS. Poté byly úhlovou vrtačkou vyvrtány potřebné otvory a desky osazeny převodníkem INA230 a dalšími součástkami. První prototyp desky měl obdélníkový tvar, který byl později přepracován na kruhový za účelem propojení pinů z mikrokontroléru CC2541 s piny měřícího obvodu INA230 pro ještě větší kompatibilitu.



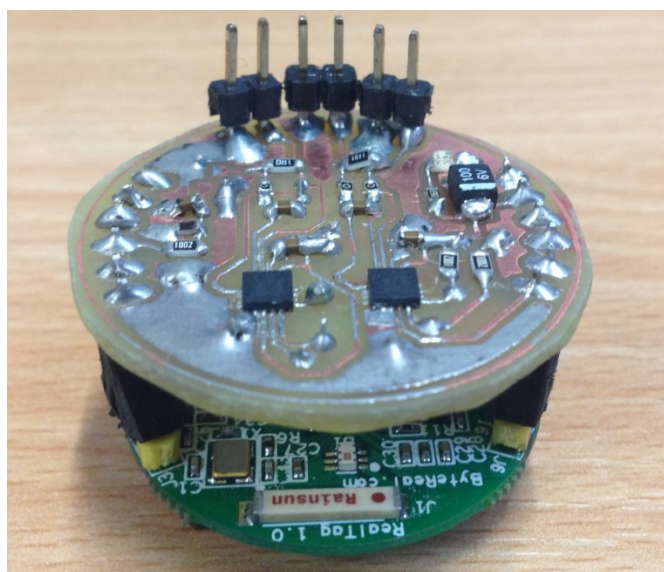
Obr. č. 16 Návrh první desky



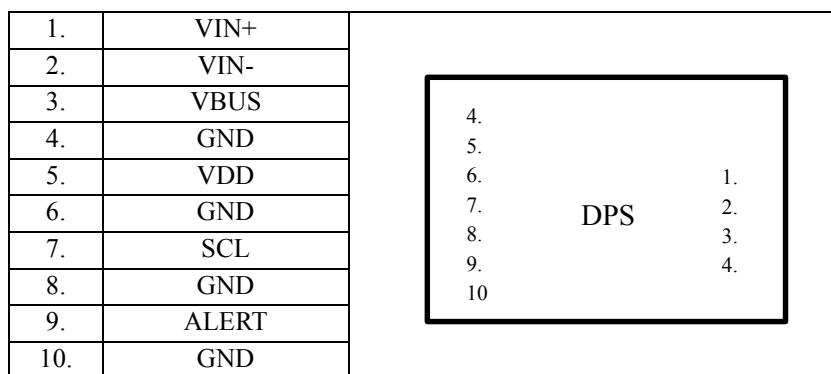
Obr. č. 17 Hotová DPS, 1. prototyp



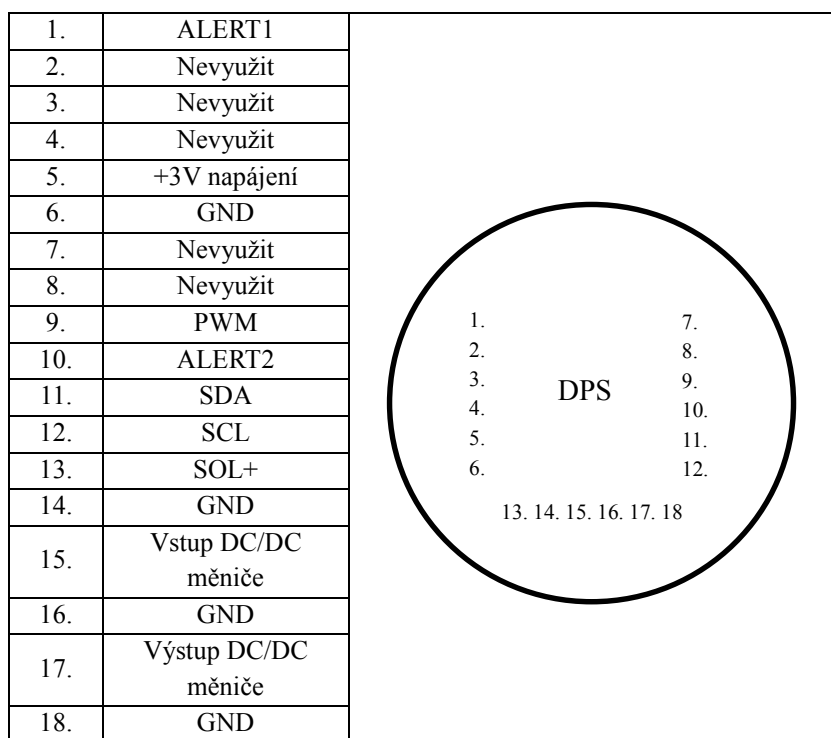
Obr. č. 18 Koncepční návrh desky plošného spoje pro připojení k CC2541



Obr. č. 19 Hotová DPS, 2. prototyp, připojení k CC2541



Obr. č. 20 Popis pinů v návrhu první desky



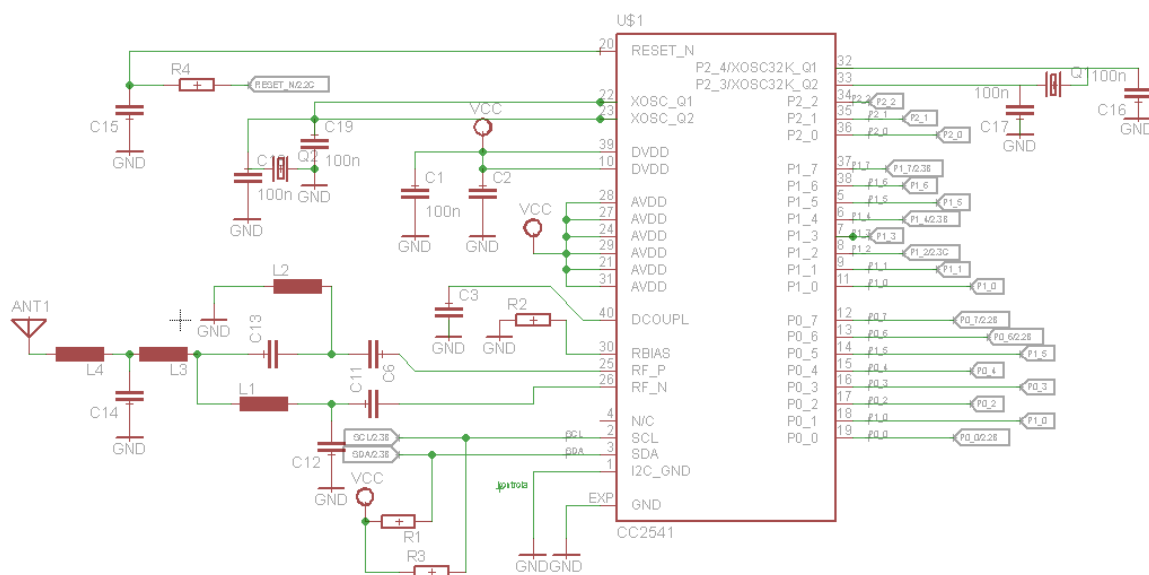
Obr. č. 21 Popis pinů v návrhu druhé desky

7.2 Čip CC2541

Komunikaci druhého měřicího obvodu zajišťuje čip CC2541 od americké značky Texas Instrumens. Tento čip má funkci mikrokontroléru, ale zároveň obsahuje i vysílací část. Má zabudované Bluetooth 4.0 a tím komunikuje s počítačovým zařízením – s mobilním telefonem nebo počítačem. Je vhodný pro Bluetooth a 2,4 GHz aplikace. Tento čip má velmi nízkou spotřebu, proto je ideální pro Energy Havervesting systémy. Má mnoho dalších výkonných podpůrných funkcí a periférií a několik provozních stavů, které ještě více snižují spotřebu energie. Přechodové děje mezi těmito režimy jsou velmi krátké a má I²C rozhraní, které umožňuje komunikaci s převodníkem INA230. [33]



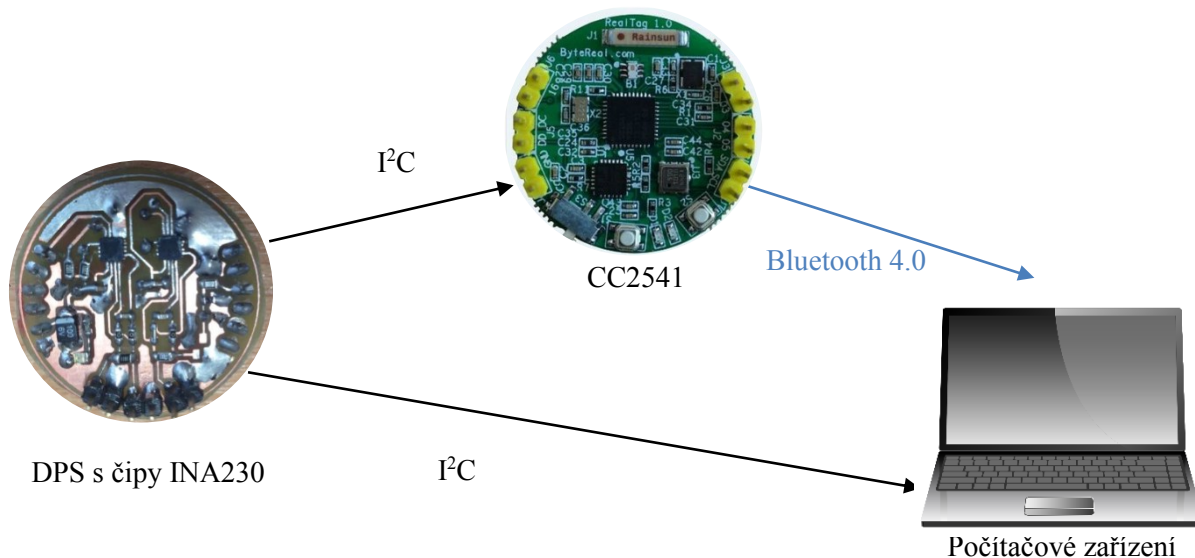
Obr. č. 22 DPS s CC2541 [34]



Obr. č. 23 Návrh CC2541 (vlastní)

7.3 Komunikace

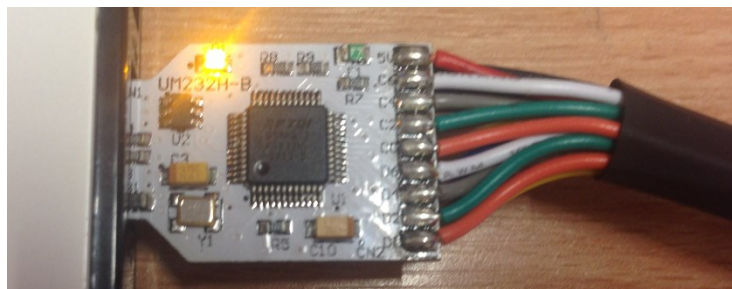
Byly testovány dva způsoby komunikace pro dva již zmíněné obvody. Komunikace mezi první DPS s jedním převodníkem a počítačem je v I²C rozhraní pomocí modulu UM232H-B. Druhý obvod může komunikovat přes Bluetooth 4.0, který je součástí čipu CC2541 nebo obdobně jako první obvod pomocí I²C rozhraní, který zajišťuje modul. Níže na obrázku můžete vidět tyto dvě možnosti.



Obr. č. 24 Komunikace mezi DPS, mikrokontrolérem CC2541 a počítačem (vlastní)

7.3.1 Modul UM232H-B

Jednu z možností komunikace mezi měřicím obvodem a počítačem zajišťuje modul UM232H-B. Tento modul byl vybrán, protože komunikuje stejně jako INA230 po I²C sběrnici. Zařízení lze připojit do konektoru USB počítače. I²C sběrnice má místo klasického USB zásuvný modul s konektory z PBC, které tvoří elektrický kontakt s konektorem USB. I²C rozhraní pracuje v napěťové úrovni +3,3 V, ale toleruje až 5 V. Má k dispozici 19 pinů, které byly vhodně připojeny k desce s INA230 a tímto způsobem se data odesílají programu v počítači a ten naměřené data zapíše do vzdálené databáze.



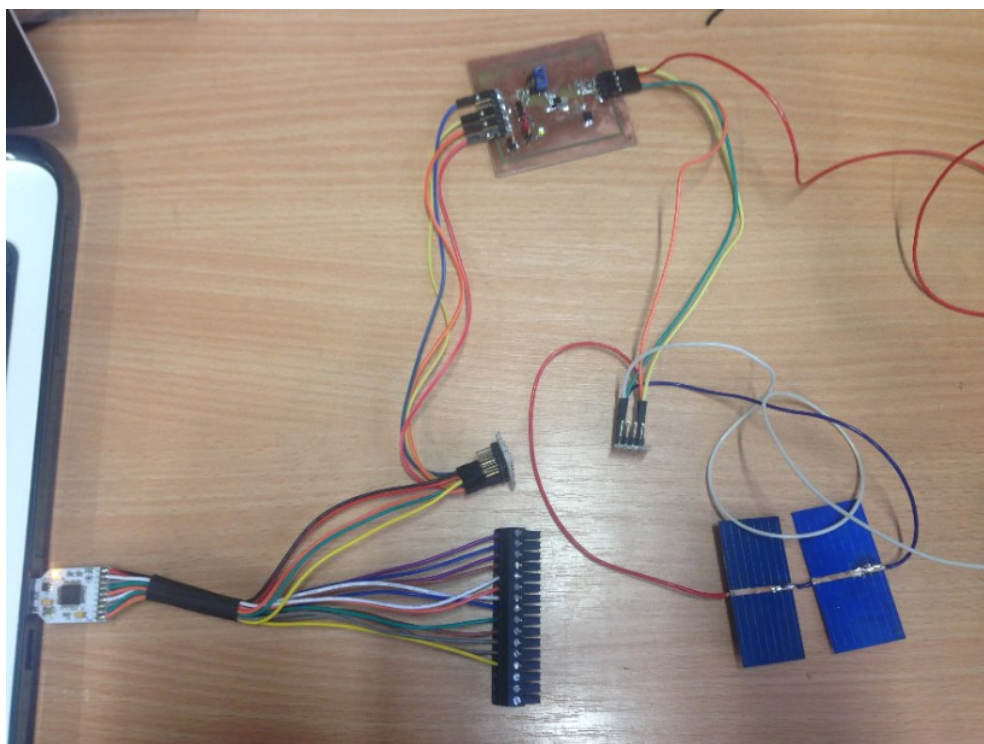
Obr. č. 25 Modul UM232H-B

7.3.2 Komunikace přes Bluetooth 4.0

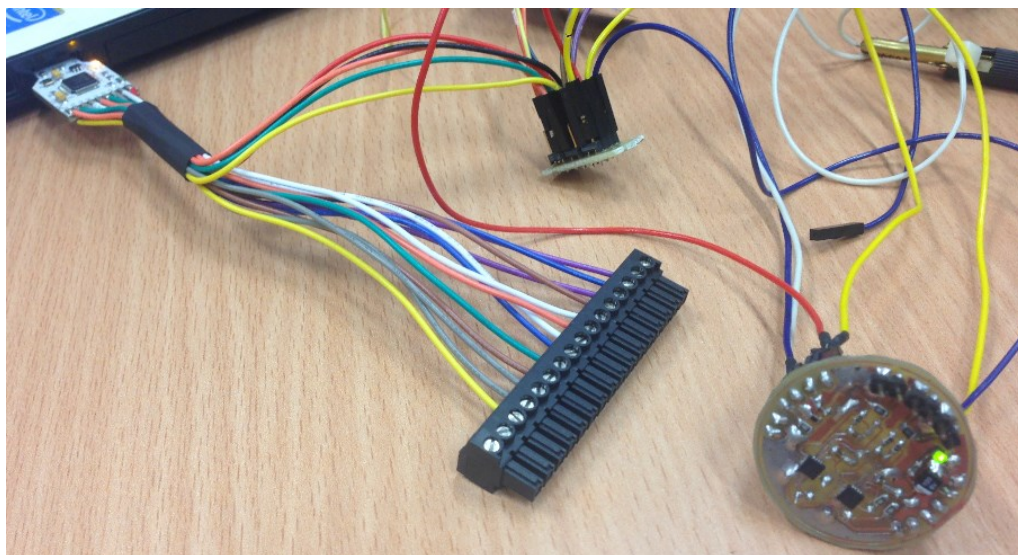
Druhá možnost, která byla zvažována, je komunikace s počítačovým zařízením pomocí Bluetooth 4.0, který je součástí mikrokontroléru CC2541. Modul je připevněn pomocí pinů k DPS s INA230. DPS komunikuje s CC2541 pomocí I²C sběrnice a tyto data dál mikrokontrolér posílá pomocí Bluetooth 4.0 do počítače.

7.4 Sestavení a měření

Takto sestavený měřicí obvod měří vstupní napětí a proud ze solárního panelu. I²C modul předává data do počítače, ve kterém byl vytvořen program pro následné zpracování dat a jejich ukládání do databáze. Program nastaví registry INA230 tak, jak bylo uvedeno v kapitole 7.1.3 a 7.1.4. Následně jsou z INA230 vyčteny data o napětí na sběrnici, bočníku a proudu a ukládány do databáze pro další zpracování.



Obr. č. 26 Sestavené měření č. 1 s modulem UM232H-B, DPS s INA230 s fotovoltaiickým článkem



Obr. č. 27 Sestavené měření č. 2 s mikrokontrolérem CC2541 a modulem UM232H-B

```
// program pro vyčtení hodnot v převodníku INA230 za pomoci modulu UM232H-B
// Program využívá implementovaných funkcí z libMPSSSE.dll , které jsou volně dostupné
// na www.ftdichip.com , taktéž jako hexové knihovny
byte[] recBuffer = new byte[8];

//funkce pro zápis. Do funkce vstupuje adresa na I2C, zapisovaná hodnota, a pravidla komunikace
uint w = ftdi.I2Cwrite(0x40, (uint)1, new byte[1] { 0x02 }, ref transferedWrite, 0x03);
// funkce pro čtení z nastaveného registru ( dle předchozího zápisu = adresa 0x02h )
uint r = ftdi.I2Cread(0x40, (uint)recBuffer.Length, recBuffer, ref transferedRead, 0x03);

// metoda zpracování dat = převedení z dvou osmibitových registrů na dekadické číslo
int data = recBuffer[0] << 8;
data = data + recBuffer[1];
float napeti = data * 1.25f / 1000;

//příkaz pro nastavení kalibračního registru - na adresu 0x05 dojde k zapsání hodnoty 821h = 2081 dec
uint CAL = ftdi.I2Cwrite(0x40, (uint)3, new byte[3] { 0x05, 0x8, 0x21 }, ref transferedWrite, 0x03);

// výpis již všech načtených dat
Console.WriteLine("{0:N4}V {1,10:N1}uA {2,10:N4}mV {3, 10}", napeti, proud, bocnik, DateTime.Now);
```

Obr. č. 28 Ukázka kódu komunikace po I²C

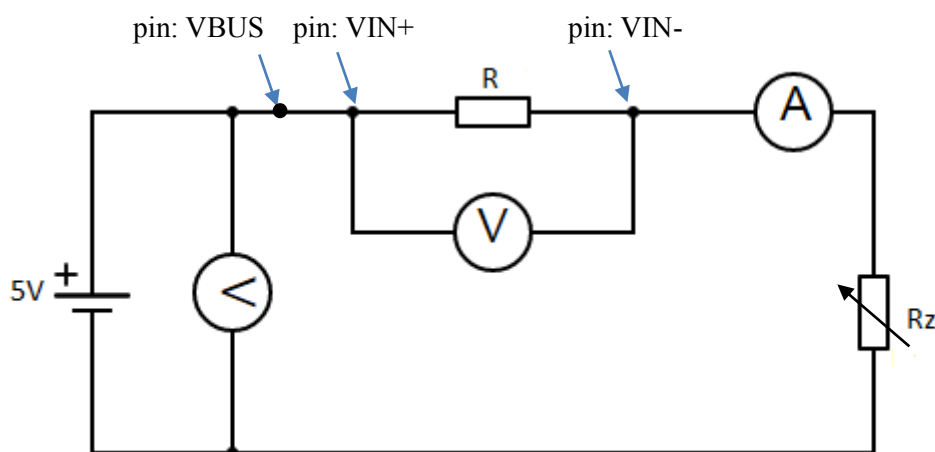
```
Zadejte login operatora: INA230
Uytvorit novy experiment? [a/n]
a
Zadejte poznamku k experimentu: ok
Zadejte hodnotu zateze: 100
Init OK...0
Connected: True
2188
5,1950V 131 066,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:01
5,1950V 131 068,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:02
5,1925V 131 068,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:03
5,1950V 131 066,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:04
5,1950V 131 066,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:06
5,1938V 131 068,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:07
5,1950V 131 068,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:08
5,1938V 131 068,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:09
5,1938V 131 068,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:10
5,1938V 131 066,0uA 163,8375mV 30. 4. 2015 9:31:12
5,1938V 131 066,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:13
5,1950V 131 068,0uA 163,8350mV 30. 4. 2015 9:31:14
5,1950V 131 070,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:15
5,1938V 131 066,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:16
5,1938V 131 068,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:17
5,1950V 131 068,0uA 163,8325mV 30. 4. 2015 9:31:19
5,1938V 131 070,0uA 163,8375mV 30. 4. 2015 9:31:20
```

Obr. č. 29 Ukázka výstupu SW pro měření při napájení 5,2 V

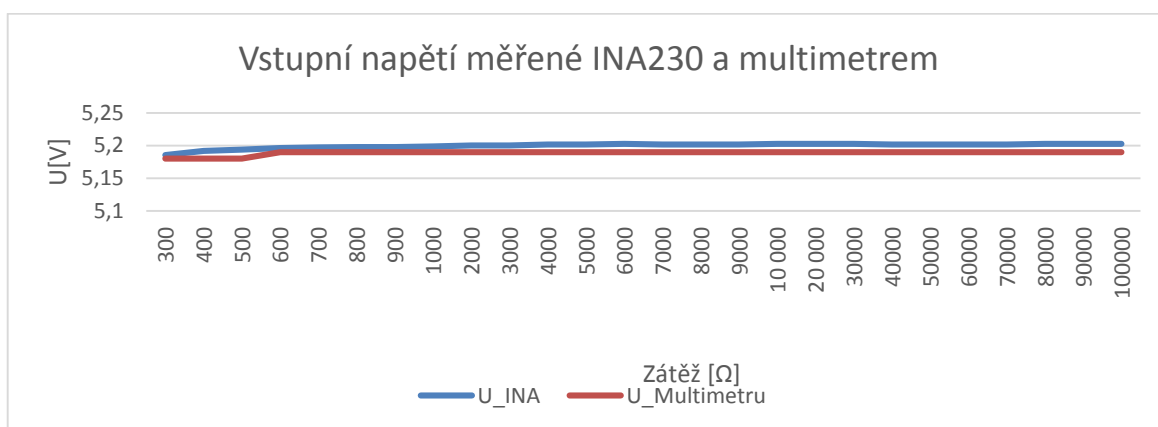
7.5 Přesnost měření

Nejdůležitější úkolem praktické části bylo zjistit, jak přesně měří vytvořené obvody s INA230. Obvody byly proměřeny se zátěží od $300\ \Omega$ - $10\ \text{k}\Omega$. V části Přílohy se nachází tabulka č. 9 Naměřená data.

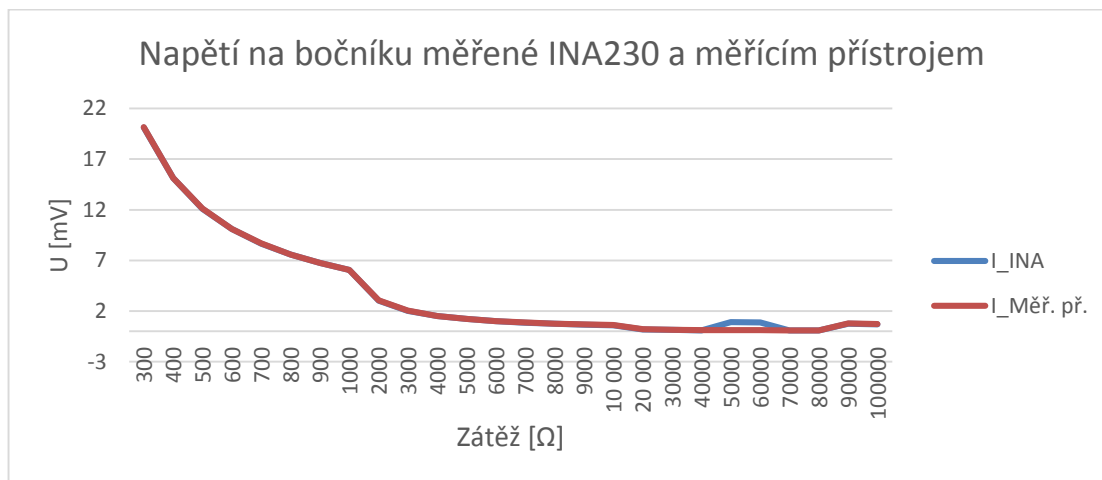
Měření, které provedly obvody s INA230, bylo porovnáno s naměřenými daty přístroji určenými k tomuto účelu. Vstupní napětí U_1 měřil digitální multimetr UT105. Měření napětí na bočniku U_B bylo měřeno přístrojem Agilent 34411A a vstupní proud I_1 byl měřen pikoampérmetrem Keithley picoammeter 6485. Sestavený obvod byl napájen stejnosměrným napětím 5,2 V.



Obr. č. 30 Schéma obvodu pro kontrolní měření

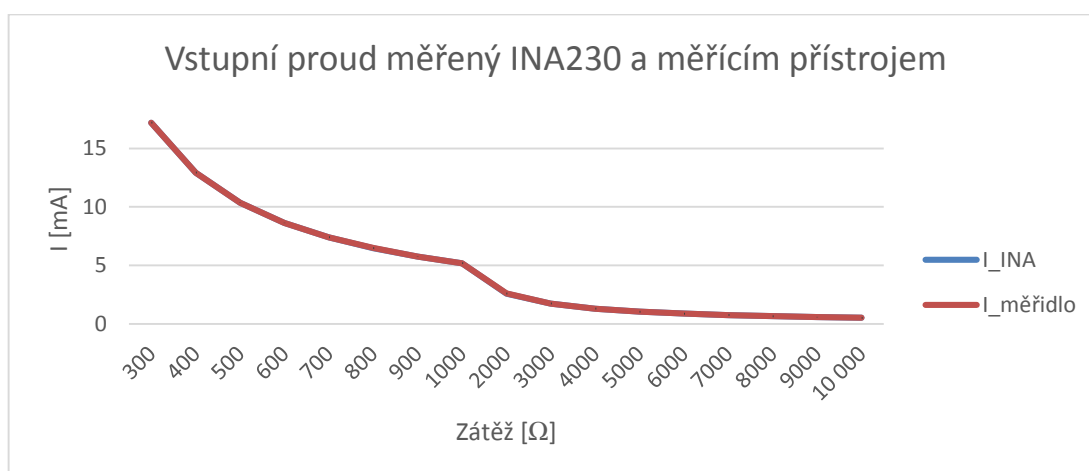


Graf č. 1 Porovnání naměřených dat



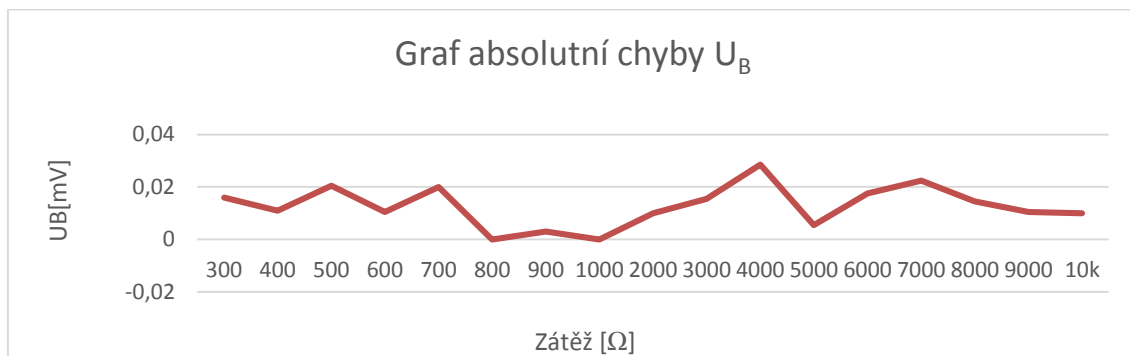
Graf č. 2 Napětí na bočníku, měřená data INA230 a multimetrem

Křivky jsou skoro totožné. Naše naměřená data odpovídaly měření multimetrem. Data se lišila pouze v 5 k Ω . To mohlo být způsobeno nepřesným odečtem a časovým rozestupem, který vznikl od odečtení a zapsání dat z prvního měření.



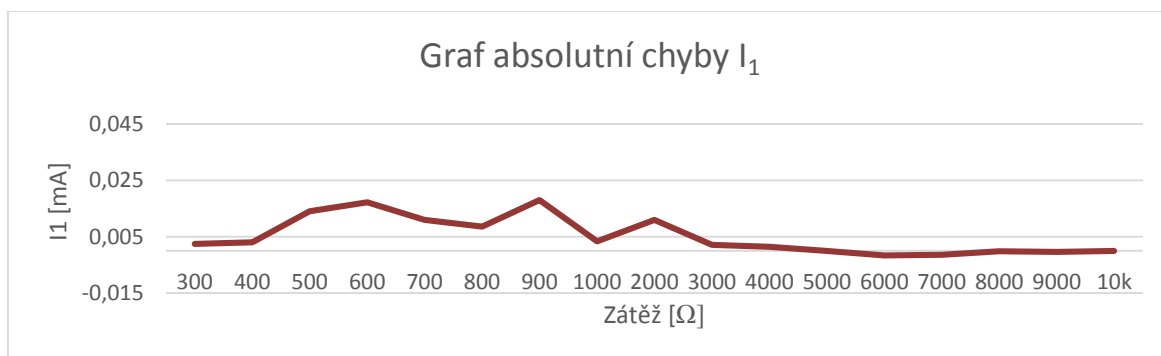
Graf č. 3 Hodnoty vstupního proudu naměřené INA230 a digitálním multimetrem

Výsledky měření jsou téměř shodné.



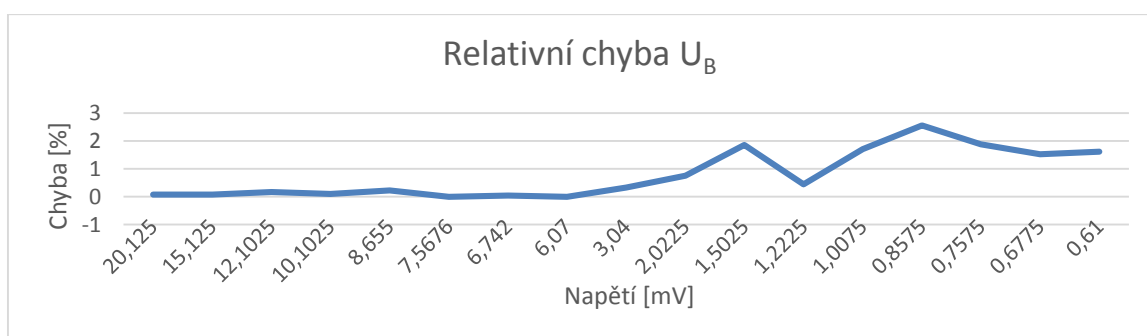
Graf č. 4 Absolutní chyba naměřených hodnot napětí na bočníku

Absolutní chyba měření napětí na bočníku je menší než $28,5 \mu\text{V}$.



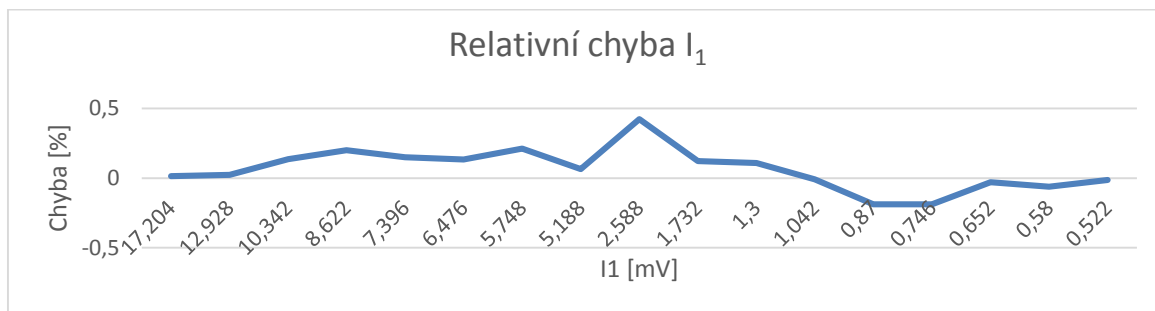
Graf č. 5 Absolutní chyba naměřených hodnot proudu

Absolutní chyba měření proudu je menší než $18 \mu\text{A}$.



Graf č. 6 Relativní chyba napětí na bočníku

Relativní chyba měření napětí na bočníku se pohybuje od 0,0013 do 2,5 %.



Graf č. 7 Relativní chyba proudů

Relativní chyba proudů se pohybuje od 0,0096 do 4 %.

Experimentálním měřením bylo zjištěno, že nejvyšší absolutní chyba byla 28,5 μV u měření napětí na bočníku a 18 μA u měření proudů. Tyto hodnoty se blíží k hodnotě rozlišení, které má INA230. Relativní chyba byla maximálně 2,5 % na bočníku a 4 % u měření proudů.

Při napájecím napětí 5,2 V byl vhodný rozsah zátěže od 300 Ω do 5 k Ω . Při větší zátěži byly měřené napětí na bočníku a proud velmi malý a kolísavý. Měření pak nebylo tak přesné.

8. Databáze

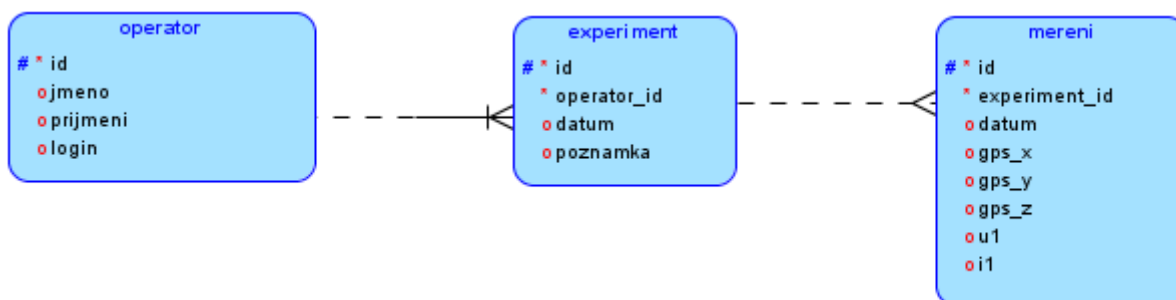
Abychom mohli naměřená data ukládat a později vyhodnocovat, musí se data odesílat do databáze v pravidelných intervalech, které odpovídají intervalům měření.

Pro tuto práci byla vybrána MySQL databáze z těchto důvodů:

- Je velmi stabilní. Každá nová verze je vždy vývojáři důkladně otestována.
- Další velmi důležitá vlastnost je rychlost. MySQL je téměř ve všech kategoriích nejrychlejší.
- Podporuje přístup z mnoha programovacích jazyků (C, C++, Eiffel, Java a další).
- Je zdarma.
- Je dnes velmi rozšířená. Obrovská výhoda vyplývající z její rozšířenosti je uživatelská podpora.
- Data se snadno dohledávají pomocí SQL dotazů, a proto je snadná práce s velkým množstvím dat v budoucnu.

8.1 Struktura databáze

Struktura databáze byla na základě požadavků aplikace navržena dle obrázku č. 30. Struktura se skládá z 3 tabulek, které jsou propojeny vztahy 1:n.



Obr. č. 31 Relační model databáze vytvořený v Oracle SQL Developer Data Modeler

První tabulka se nazývá Operátor a jsou zde informace jako ID, Jméno, Příjmení a Login osoby, která měření provedla, popřípadě název mikrokontroléru, který daná data naměřil.

#	Pole	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	<u>id</u>	int(11)			Ne	Žádná	AUTO_INCREMENT	Změnit Odstranit Více ▼
2	jmeno	text	utf8_czech_ci		Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
3	prijmeni	text	utf8_czech_ci		Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
4	login	text	utf8_czech_ci		Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼

Obr. č. 32 Pohled do struktury tabulky Operátor

Druhá tabulka obsahuje informace o každém jednotlivém měření. Zde jsou informace jako ID, Operátor ID, Datum a Poznámka.

#	Pole	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
<input type="checkbox"/>	1 <u>id</u>	int(11)			Ne	Žádná	AUTO_INCREMENT	Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	2 operator_id	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	3 datum	datetime			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	4 poznámka	text	utf8_czech_ci		Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼

Obr. č. 33 Pohled do struktury druhé tabulky databáze

Poslední tabulka se nazývá Měření. Zde se ukládají tyto informace: ID měření, ID experimentu, Datum, GPS, kde proběhlo měření, dále pak vstupní a výstupní napětí z DC/DC měniče a vstupní a výstupní proudy. Zde zapisuje program i velikost zátěže. Primární klíč je přiřazen k ID experimentu, ten bude pro každý experiment jedinečný a slouží k propojení s ostatními tabulkami.




<input type="checkbox"/>	1 <u>id</u>	int(11)			Ne	Žádná	AUTO_INCREMENT	Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	2 experiment_id	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	3 datum	datetime			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	4 gps_x	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	5 gps_y	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	6 gps_z	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	7 u1	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	8 i1	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	9 u2	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	10 i2	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	11 u3	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	12 i3	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	13 u4	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	14 i4	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	15 u_c	float			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼
<input type="checkbox"/>	16 r_z	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více ▼

Obr. č. 34 Pohled do struktury tabulky Měření

8.2 Ukázka příkazu

Příkaz pro vyhledání měření, které proběhlo dne 22. 3. 2015.




```
select *  
from mereni  
where datum='2015.03.22';
```

 id	 experiment_id	 datum	gps_x	gps_y	gps_z	u1	i2	u3	i4	u_c
8	3	2015-03-22 01:00:00	125	125	153	1.598	12.1	2.26	5.01	0
10	3	2015-03-22 02:00:00	125	125	153	1.406	12.5	2.26	5.01	0
11	3	2015-03-22 03:00:00	125	125	153	1.305	15.3	2.26	5.01	0
12	3	2015-03-22 04:00:00	125	125	153	1.202	16.02	2.26	5.01	0
13	3	2015-03-22 05:00:00	125	125	153	1.108	18.3	2.26	5.01	0
14	3	2015-03-22 06:00:00	125	125	153	1.057	21.3	2.26	5.01	0
15	3	2015-03-22 07:00:00	125	125	153	0.901	22.5	2.26	5.01	0
16	3	2015-03-22 08:00:00	125	125	153	0.807	26.4	2.26	5.01	0
17	3	2015-03-22 09:00:00	125	125	153	0.707	30.8	2.26	5.01	0
18	3	2015-03-22 10:00:00	125	125	153	0.601	34.5	2.26	5.01	0

Obr. č. 35 Výsledek vyhledávání podle data měření

Příkaz pro vyhledání měření, u kterého hodnota napětí U_1 bylo větší než 1,5 V

```
select id  
from mereni  
where U1>'1,5';
```

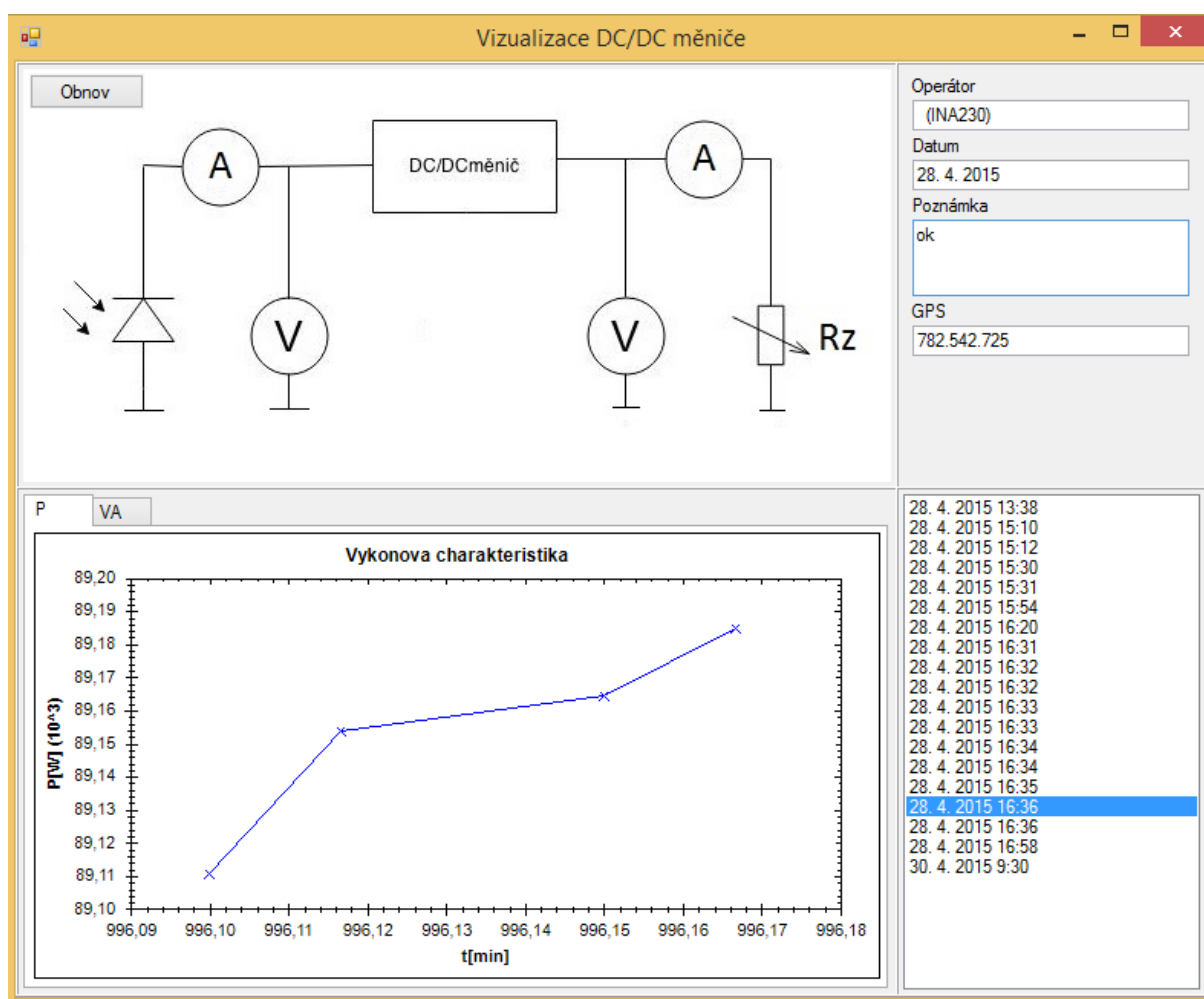
 id	 experiment_id	 datum	gps_x	gps_y	gps_z	u1	i2	u3	i4	u_c
8	3	2015-03-22 01:00:00	125	125	153	1.598	12.1	2.26	5.01	0

Obr. č. 36 Výsledek vyhledávání druhého příkazu

9. Vizualizace DC/DC měniče

Pro vizualizaci DC/DC měniče bylo vybráno vývojové prostředí od Microsoftu, program Visual Studio. Jako programovací jazyk byl zvolen C#, který implementuje knihovnu pro komunikaci s databází na portálu My SQL a má možnost vytvoření GUI (graphics user interface) aplikací. Jazyk C# dále splňoval všechny požadavky a .NET Framework má navíc v aplikaci Windows Forms Application bohatou paletu pro základní vizualizace.

Vizualizace slouží ke snadnému přehledu získané energie ze solárních článků. Vizualizovány byly tyto napětí a proudy U_1 , I_1 , U_2 , I_2 . Program získává data ze vzdálené databáze na portálu MySQL.



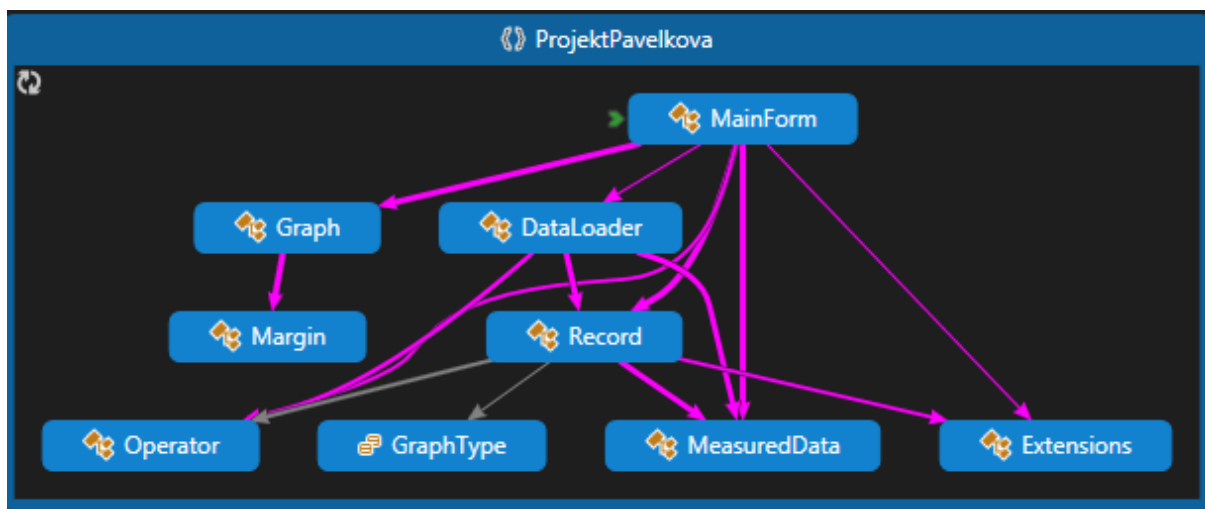
Obr. č. 37 Vzhled vizualizace napětí a proudů

9.1 Vývoj programu

Pro testovací vývoj nebyla připojena databáze, nejdříve byly vytvořeny pomocná data ve formátu CSV. Byly pro ně sestaveny modely v aplikaci – třídy Record, Operator a MeasuredData. Pak byly vytvořeny jednotlivé grafy – třída Graph. Složitým úkolem bylo vykreslit tyto grafy. Musel být proveden převod ze souřadnicové soustavy do soustavy viditelné počítačem. To je počátek soustavy souřadnic vlevo dole. Bylo potřeba vypočíst vhodné měřítko pro každou osu. To znamenalo vypočíst maximální a minimální hodnotu z naměřených dat a poté zjistit poměr počítačového pixelu k pixelu, který reprezentuje bod v grafu. Poté se postupně přidávala možná interaktivita s grafem. Například už zmíněný kurzor, který je pohyblivý a vždy najde nejbližší bod naměřených dat. Tyto data se pak zobrazí v horním panelu, který obsahuje schéma obvodu.

Když interaktivita grafu byla už funkční, byl vytvořen kód pro stahování dat ze vzdálené databáze. Dotazy na vrácení záznamů z databáze se namapují. Vznikne takzvané ORM – objekt-relational mapper na modely – třídy Record, Operator a MeasuredData. To znamená, že byl vytvořen ORM nástroj pro práci s databází – třída DataLoader. Ten uvnitř využívá knihovnu poskytovanou firmou Oracle na <https://dev.mysql.com/downloads/connector/net>.

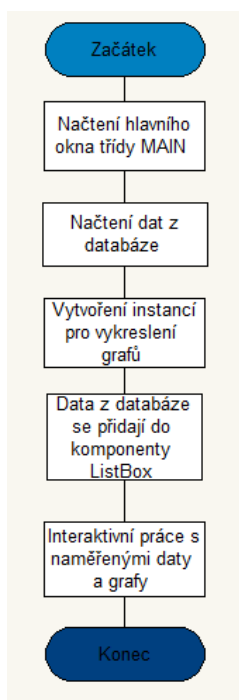
Pak bylo nutné dodělat GUI, aby se zvolená data zobrazovaly u schématu obvodu v horní části vizualizace. Musel být vytážen operátor. Pak už nebyl žádný problém, protože bylo vše namapováno v modelech – všechny vazby. Nebylo již třeba se dotazovat serveru.



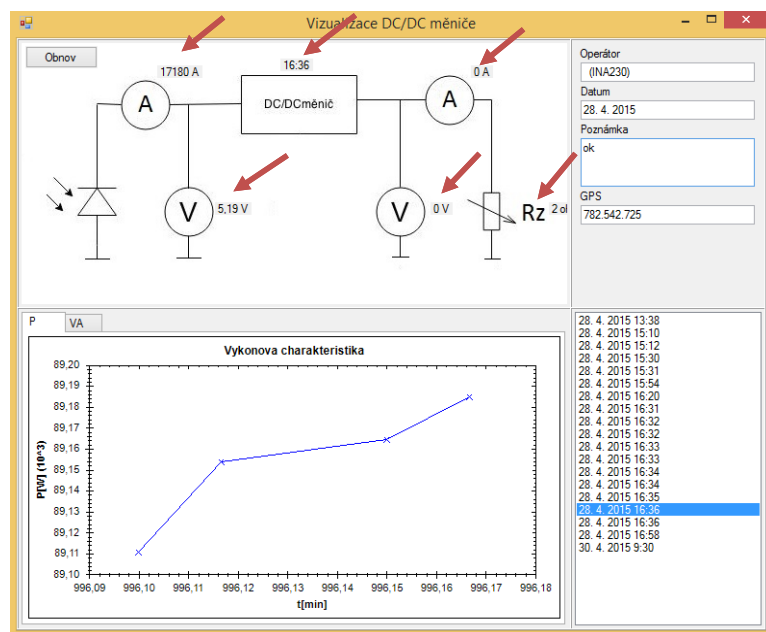
Obr. Č. 38 Vzájemné vztahy tříd

9.2 Průběh programu

Po načtení hlavního okna – třídy MainForm se načtou i synchronně data z databáze. Vytvoří se instance pro vykreslení grafů a stažené záznamy z databáze se přidají do komponenty ListBox v hlavním okně. Po zvolení položky, která reprezentuje měření, se v ListBoxu aktualizují grafy. Dále se ukáže, kdo měření provedl, v jaký den a hodinu a případná poznámka k měření. Při kliknutí do grafu se ke schématu přepíší naměřené hodnoty z nejbližšího zvoleného měření daného času. ZedGraf umožňuje i zoom, který je skvělý pro analyzování určitého úseku dat z velkého množství naměřených hodnot.

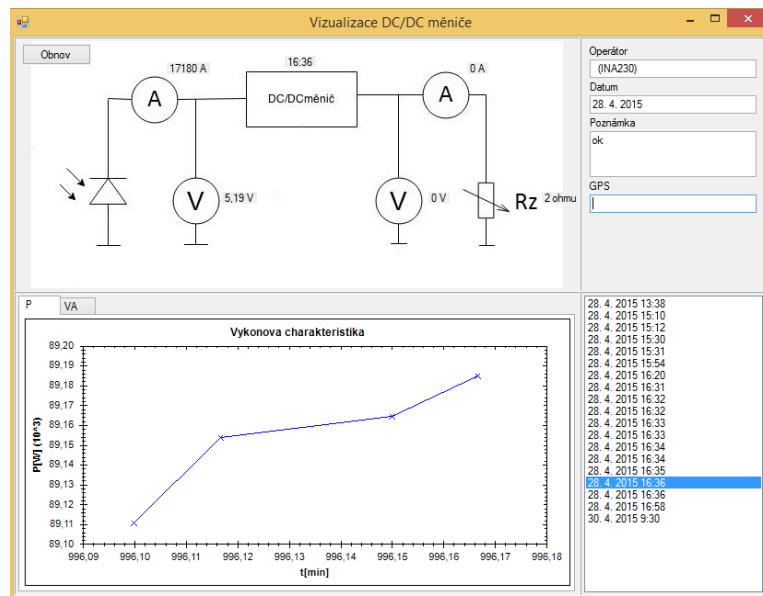


Obr. č. 39 Vývojový diagram

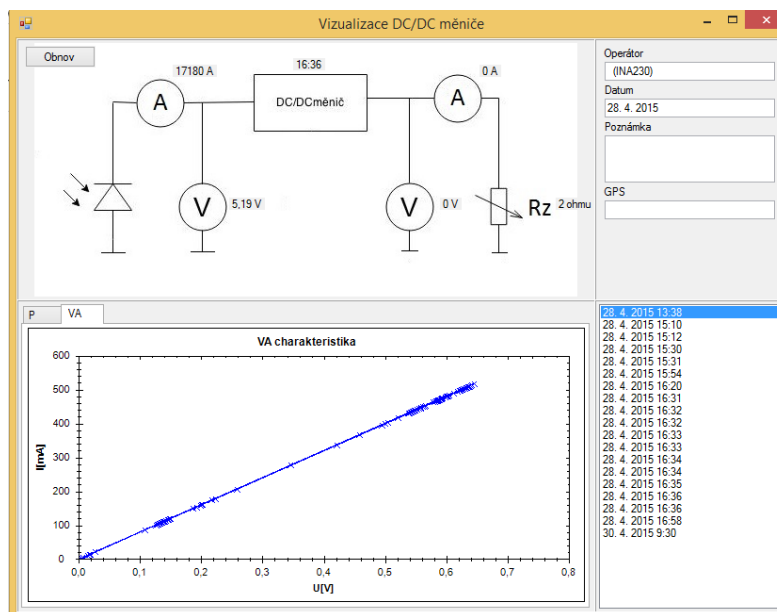


Obr. č. 40 Zobrazení vyžádaných dat

Vizualizace má horní panel, ve kterém je schéma měřicího obvodu a spodní část s dvěma grafy – jeden pro zobrazení křivky výkonu, druhý zobrazující V/A charakteristiku. V pravé spodní části je historie měření pro snadnější dohledání mezi posledními měřeními a možnosti odečtení výsledků podle dne a hodiny, nad tím podrobnější informace o měření.



Obr. č. 41 Vizualizace výkonové charakteristiky



Obr. č. 42 Vizualizace V/A charakteristiky

10. Závěr

Bakalářská práce se zabývá napájením biometrických a biotelemetrických senzorů z alternativních zdrojů energie. Toto téma bylo zpracované po stránce teoretické i praktické.

Hlavní náplní teoretické části práce je rešerše na téma alternativních zdrojů a jejich rozdělení, přenosu dat několika rozhraními – Bluetooth, WiFi, Zigbee, GPRS/GSM a biometrických a biotelemetrických senzorů. Dále byla rozebrána problematika ukládání získané energie a metoda Energy Harvesting.

V praktické části byly navrženy a otestovány dva prototypy obvodů napájeny fotovoltaiickými články. Tyto obvody sloužily k získání dat o vytěžené solární energii. Dále byla řešena komunikace a ukládání dat do vzdálené databáze.

Jako nejvhodnější převodník byl zvolen INA230, který přímo měří fyzikální veličiny a komunikuje přes I²C rozhraní. Celý obvod řídí mikrokontrolér CC2541, který má zabudovanou vysílací část s Bluetooth 4.0. Všechny součásti obvodu jsou energeticky nenáročné, převodník a mikrokontrolér mají speciální módy pro ještě lepší zacházení s malým množstvím vytěžené energie. Naměřená data jsou zpracována v programu, který je ukládá do databáze, která je dostupná na MySQL portálu nebo ve vizualizaci.

Výsledkem mé bakalářské práce je měřicí obvod, který sleduje vytěžitelnost elektrické energie z fotovoltaiických článků. Tento měřicí obvod je realizovaný na desce plošného spoje. Dále byla vytvořena vzdálená databáze, do které jsou data odesílána v pravidelných intervalech a vizualizace v programu Visual Studio, ve které můžeme přehledně sledovat získané množství energie. Byl použit ZedGraf, který usnadňuje práci s načtenými daty.

Experimentálním měřením, při kterém byly obvody napájeny 5 V stejnosměrného napětí, bylo zjištěno, že vytvořené obvody v rámci této práce měří dle mého názoru velmi přesně. Nejvyšší absolutní chyba byla 28,5 μ V. u měření napětí na bočníku a 18 μ A u měření proudu. Tyto hodnoty se blíží k rozlišovacím hodnotám INA230. Relativní chyba byla maximálně 2,5 % na bočníku a 4 % u měření proudu. Prototypy obvodů jsou schopné měřit v rozsahu napětí od 0 V až do +28 V, což odpovídá měřicímu rozsahu INA230.

Obvody zrealizované v rámci této bakalářské práce mohou být rovněž využity k realizaci dalších bakalářských nebo diplomových prací, které by byly zaměřeny na bezbateriové mobilní biometrické a biotelemetrické senzory, což je jedna z oblastí, kterou bych se chtěla dále zabývat v navazujícím magisterském studiu.

Zdroje literatury:

- [1] ZBOŘIL, Jiří. *Alternativní zdroj napájení pro mobilní snímače polohy* [online]. Ostrava, 2014. 54 s. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita. Vedoucí práce Robert Frischer. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/104550/ZBO0011_FMMI_B3922_3902R040_2014.pdf?sequence=1.
- [2] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] Obnovitelné zdroje energie. *Alternativní zdroje energie*. [online]. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
- [4] Zákon č. 17/1992 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů (zákon o životním prostředí § 7). in: *Sbírka zákonů*. 1992. [online]. [cit. 25. 11. 2014]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/ostatni/100306247.html>
- [5] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 1998, 96 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [6] ALMAŠYOVÁ, Zuzana. *Využití alternativních zdrojů energie pro napájení mobilních senzorů* [online]. Ostrava. 2014. 40 s. [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/106118>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [7] Sluneční elektrárny. *Alternativní zdroje*. [online]. 11. 2. 2015 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm>
- [8] Návrh systému Energy Harvesting. *Pandatron*. [online]. 26. 1. 2010 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1215&navrh_systemu_energy_harvesting
- [9] Informace akumulátory. *Battery*. [online]. 2012 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.battery.cz/informace-faq/>
- [10] VALENZUELA, Adrian. *Energy Harvesting for No-Power Embedded Systems*. [online]. 28. 9. 2008 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: http://focus.ti.com/graphics/mcu/ulp/energy_harvesting_embedded_systems_using_msp430.pdf

- [11] Battex. *Abeceda baterií a akumulátorů*. [online]. 2009 - 2015 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektrochemicke-zdroje-proudu-obecne/definice>
- [12] Battex. In: *Galvanický článek* [online]. 2009 - 2015 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.battex.info/slovnicek-a-pojmy/galvanick%C3%BD+%C4%8DI%C3%A1nek>
- [13] ŠVANDOVÁ, Kateřina. *Chemické látky v automobilu* [online]. 04. 02. 2011 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://autaveskole.jaknahmyz.cz/chemie>
- [14] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 342 s. ISBN 80-7300-146-2.
- [15] Elektromobily. *Superkondenzátory*. [online]. 30. 7. 2009 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.elektromobily.org/wiki/Superkondenz%C3%A1tory>
- [16] ECNMAG. *Energy Harvesting for a Greener Environment*. [online]. 5. 5. 2010 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.ecnmag.com/articles/2010/05/energy-harvesting-greener-environment>
- [17] BRÁZDIL, Marian. *Možnosti využití termoelektrických jevů* [online]. 12. 8. 2013 [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>
- [18] UMEL. *Energy Harvesting* [online]. 19. 4. 2013 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/nanoteam/03.php?deta=133>
- [19] NÚDZÍKOVÁ, Pavlína, Zdeněk SLANINA, David VALA a Petr DRÁBEK. *Elektromobilita I: Identifikace uživatele*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2014, 179 s. ISBN 978-80-248-3531-0.
- [20] Timelink. *Snímače otisku prstu* [online]. 2012 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.timelink.cz/snimace-otisku-prstu/>
- [21] HUBÁLEK, Jaromír. *Generátorové senzory*. Přednáška. Brno: Vysoké učení technické v Brně. [online]. 2011 [cit. 2014-02-16]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/prednasky/BMMS-01.pdf>
- [22] PENHAKER, Marek a Martin AUGUSTYNEK. *Zdravotnické elektrické přístroje I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 411 s. ISBN 978-80-248-3107-7.
- [23] Vernier. *Blood Pressure Sensor* [online]. 2015 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/BPS-BTA>

- [24] ČEPIČKA, David. *Základy technologie Bluetooth: původ a rozsah funkcí*. [online]. 10. 02. 2009 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635>
- [25] Zigbee Alliance. *What is Zigbee?* [online]. 2015 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://zigbee.org/what-is-zigbee/494-2/>
- [26] SYROVÝ, Martin. *Mobilní komunikace Wifi*. Semestrální práce. [online]. 2015 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/Wi-Fi.pdf
- [27] *General Packet Radio Service*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [online]. 2001 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service
- [28] DECUIR, Joe. *Bluetooth 4.0: Low Energy*. [online]. 2010 [cit. 2015-02-12] Dostupné z: <http://chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf>
- [29] KOTON, Jan, Petr ČÍKA a Vladislav KŘIVÁNEK. *Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee*. In: *Access server* [online]. 2006 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006032001>
- [30] LEE, Jin-Shyan, Yu-Wei SU a Chung-Chou SHEN. *A Comparative Study of Wireless Protocols*. Industrial Technology Research Institute. [online]. 2014 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://www.ripublication.com/aeer_spl/aeer4n6spl_18.pdf
- [31] NXP. *Interface and connectivity. I2C* [online]. 2006 - 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z: http://www.nxp.com/products/interface_and_connectivity/i2c/licensing/
- [32] Texas Instruments. *High- or Low-Side Measurement: Bidirectional CURRENT/POWER MONITOR with I²C™ Interface* [online]. 01. 02. 2012 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina230.pdf>
- [33] Texas Instruments: *CC2541*. [online]. 06. 07. 2014 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/cc2541>
- [34] Alibaba: *CC2541*. [online]. 1999-2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/F08398-Realtag-BLE-Sensor-Wearable-CC2541_1913138624.html
- [35] PETERKA, Jiří. *K čemu je GPRS?*. [online]. 2011 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/b01/b0100001.php3>

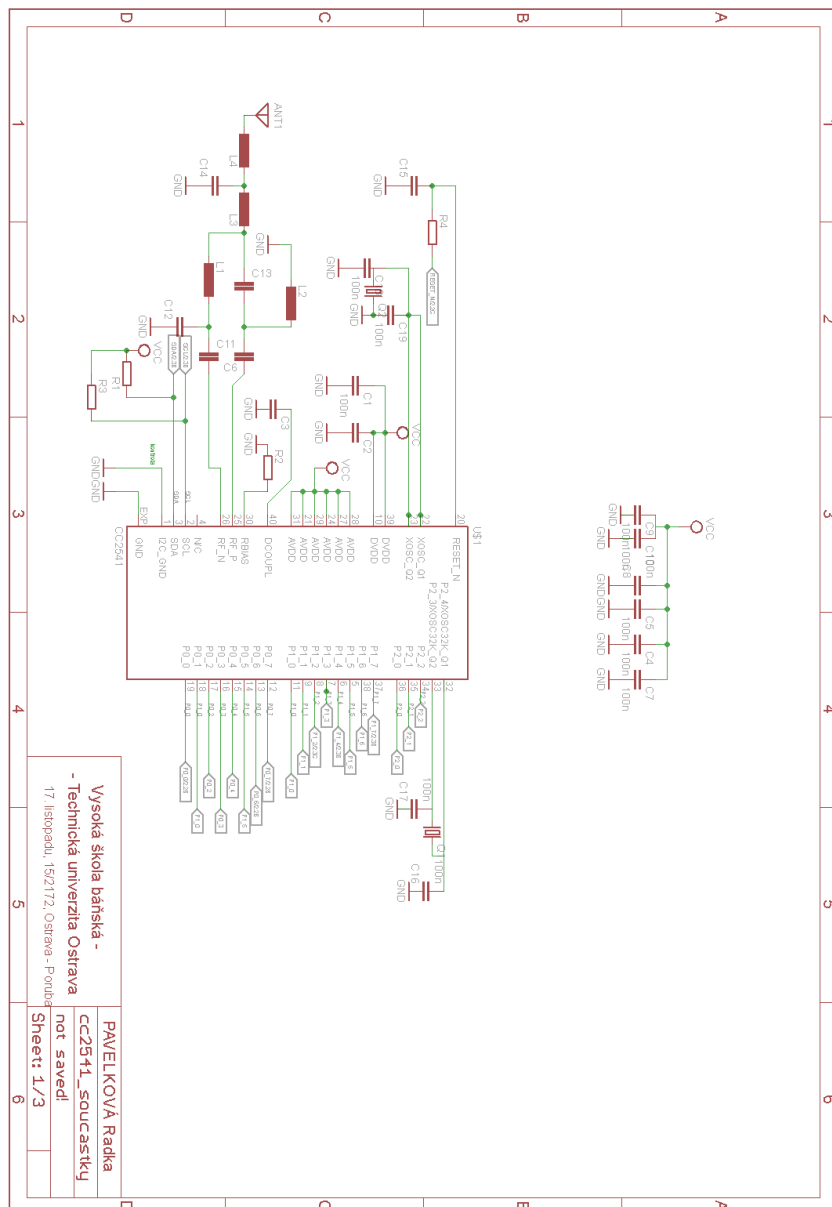
Seznam příloh:

1. Schéma obvodu mikrokontroléru CC2541
2. Návrh části obvodu mikrokontroléru CC2541
3. DPS s INA230 – prototyp č. 1
4. DPS, 1. prototyp, pohled z přední strany
5. Schéma DPS s INA230 prototyp č.2
6. Schéma DPS prototyp č. 2 – přední strana
7. Schéma DPS prototyp č. 2 – zadní strana
8. Schéma DPS prototyp č. 2 – součástky
9. Naměřené data
10. Zpracovaná data – Absolutní a relativní chyba

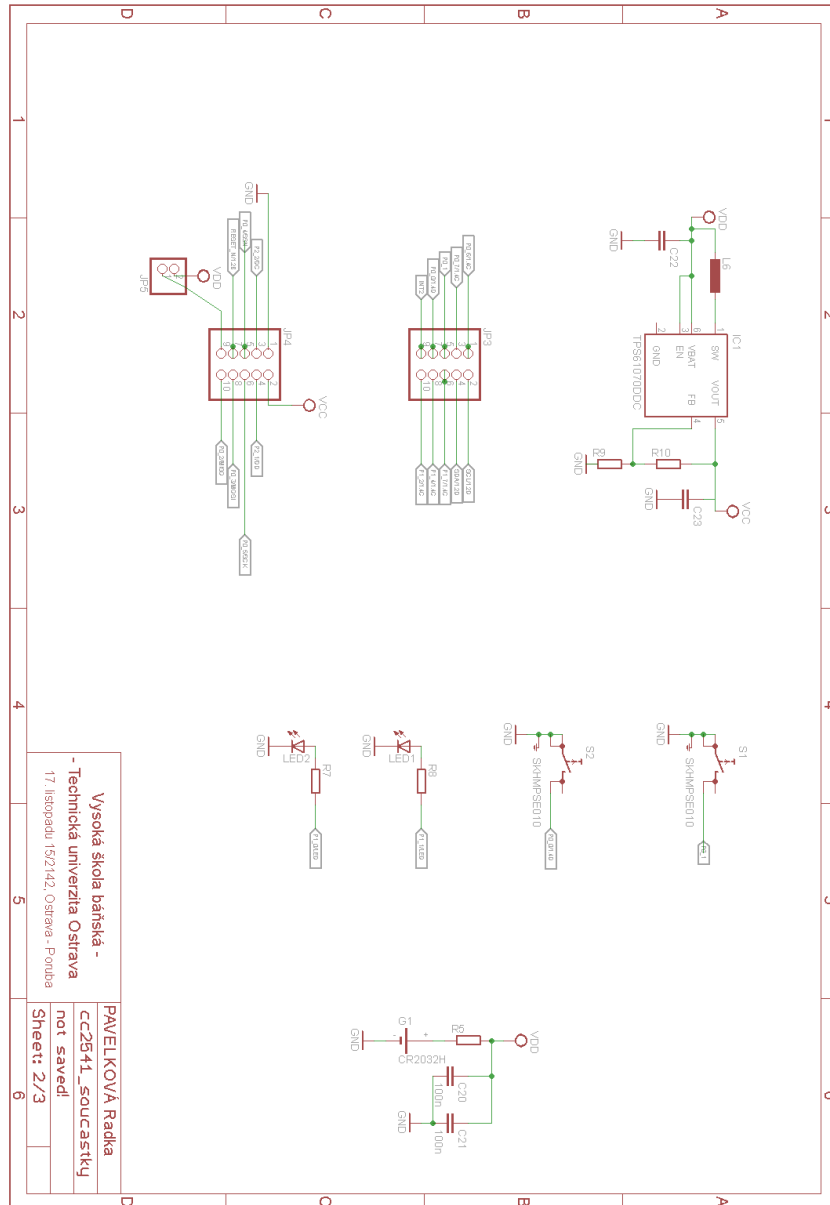
Přílohy na CD

1. Vizualizace DC/DC měniče
2. Program pro komunikaci po I²C

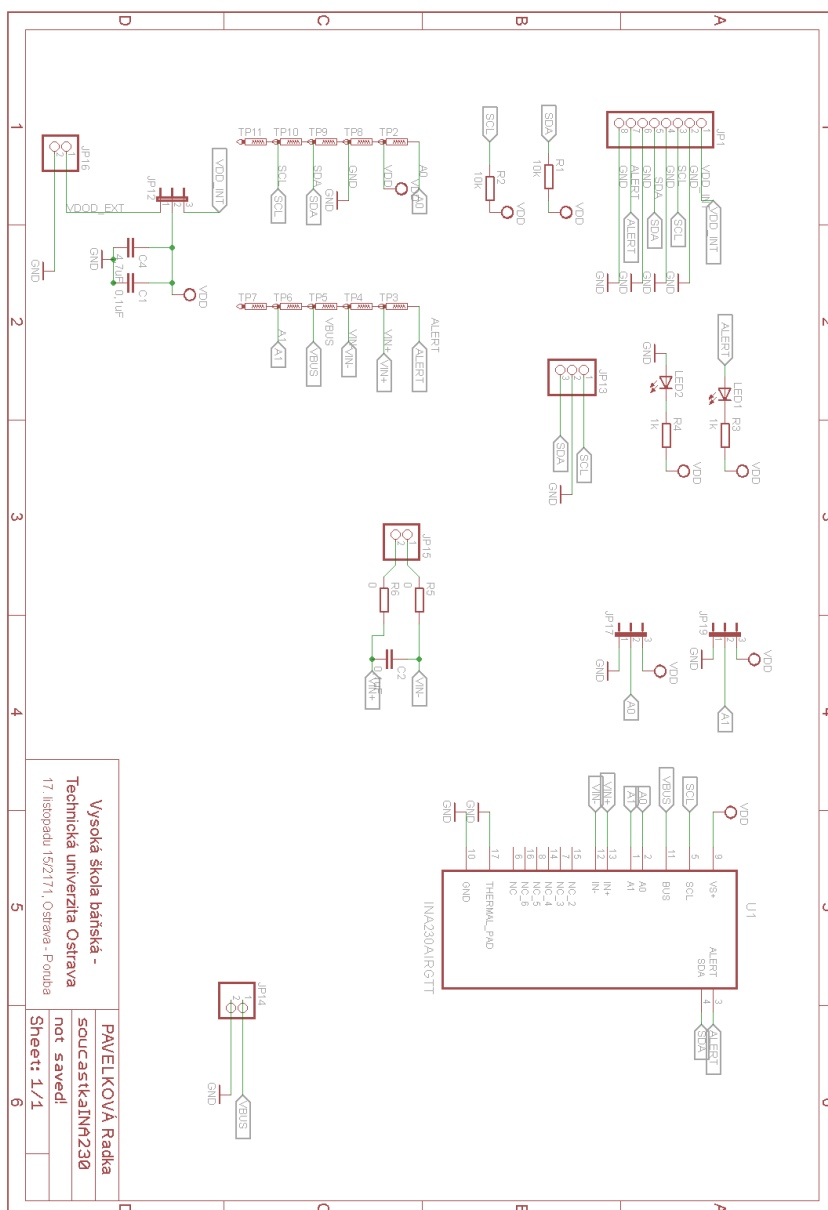
Příloha č. 1 Schéma obvodu mikrokontroléru CC2541



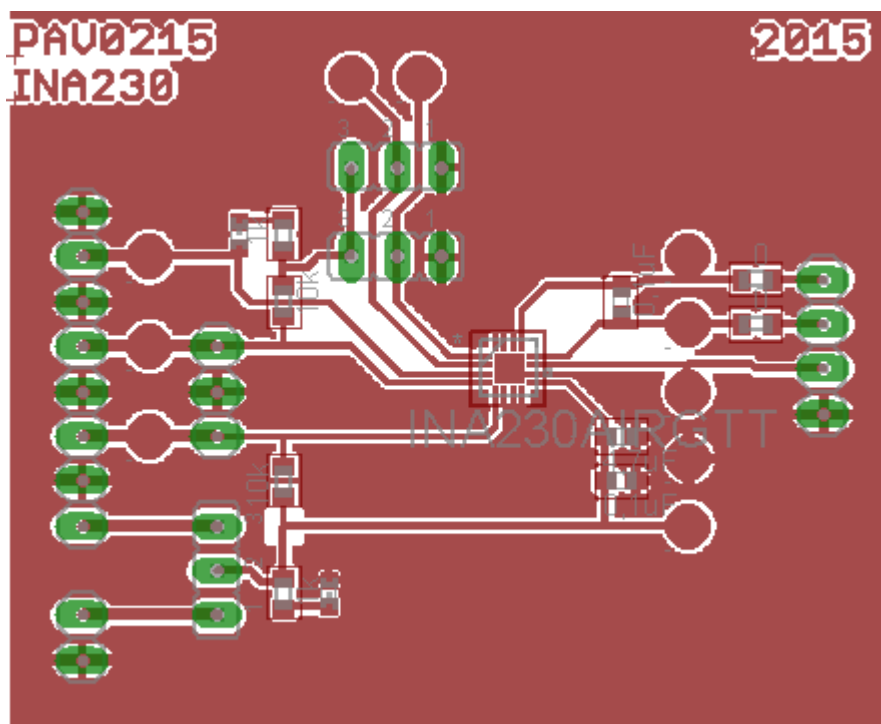
Příloha č. 2 Návrh části obvodu mikrokontroléru CC2541



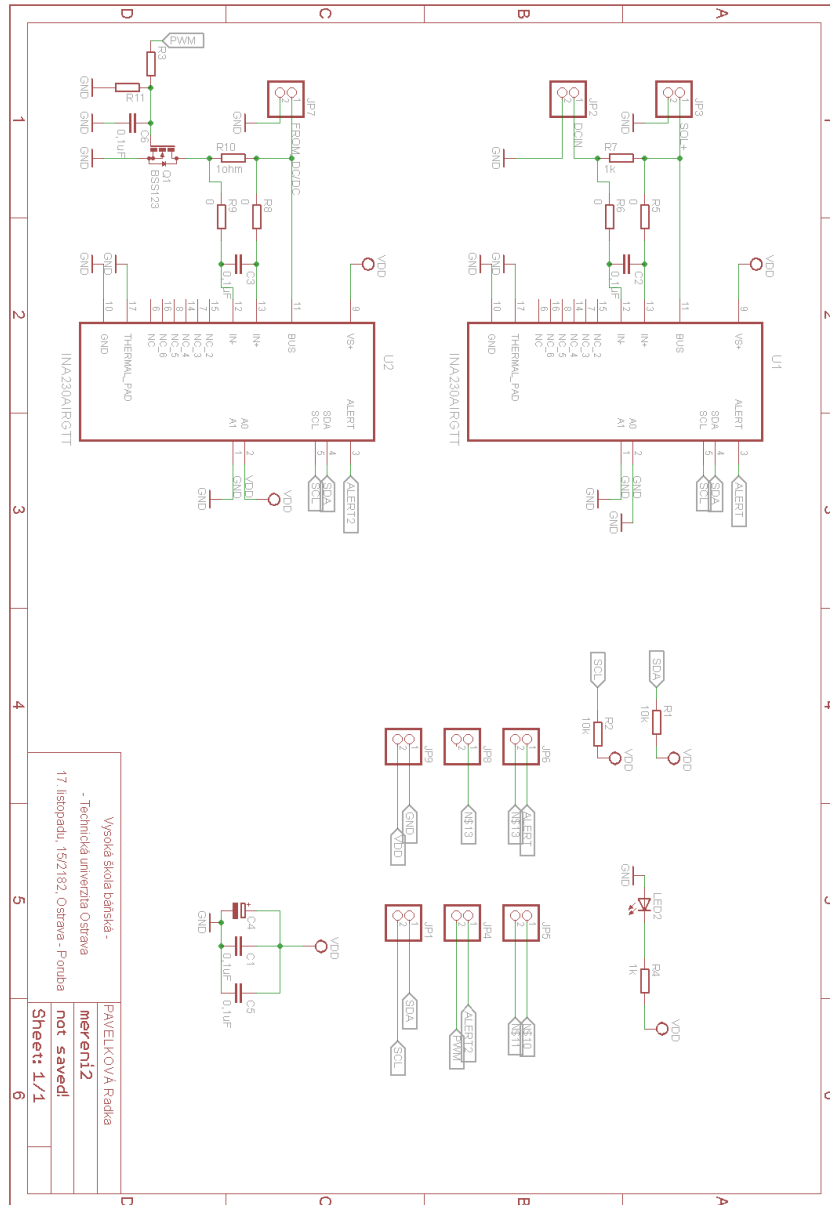
Příloha č.3 Schéma DPS s INA230, prototyp č. 1



Příloha č. 4 DPS, 1. prototyp, pohled z přední strany

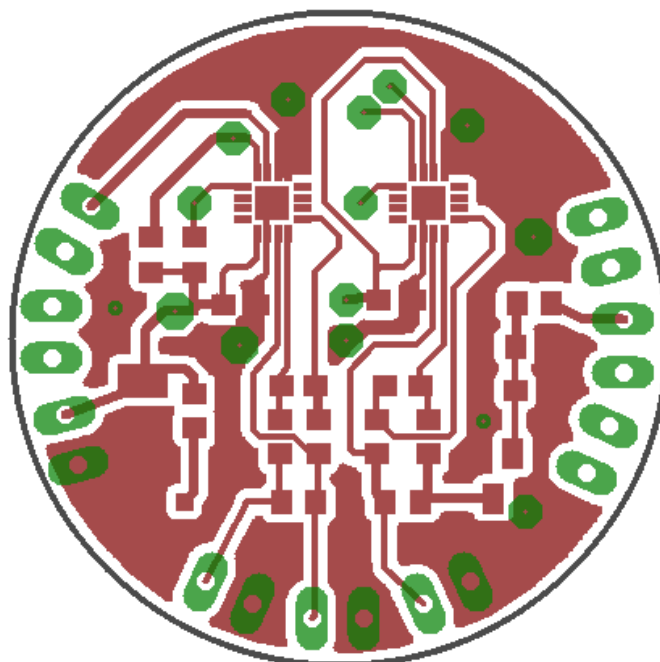


Příloha č.5 Schéma DPS s INA230 prototyp č.2

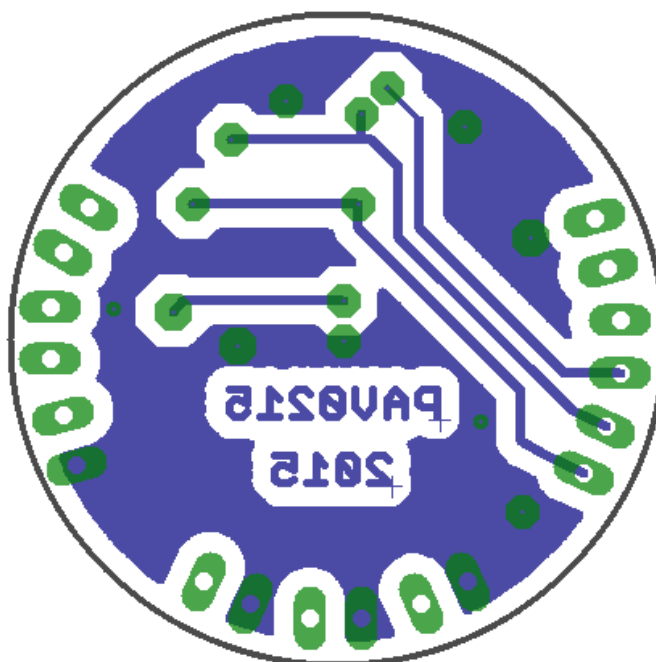


Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava
17. listopadu, 152182, Ostrava - Ponom
merení 2
not saved!
Sheet: 1/1

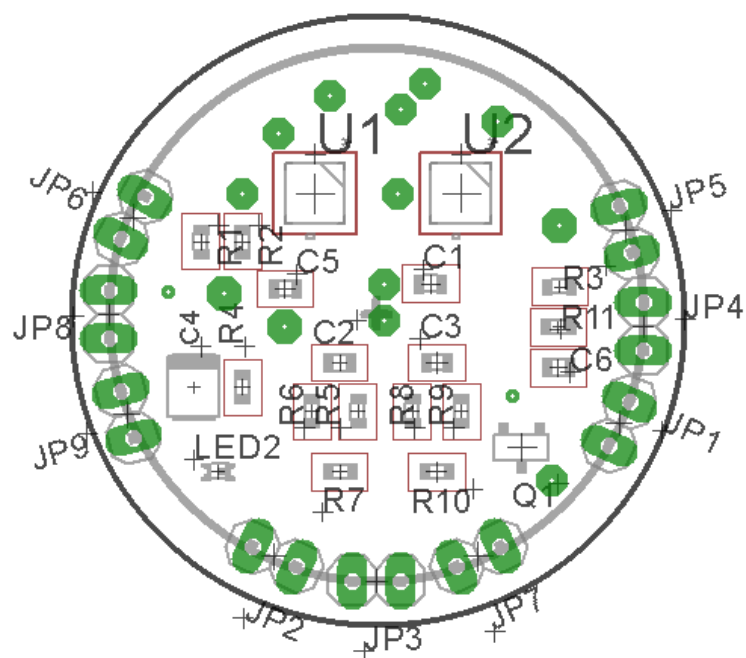
Příloha č. 6 Schéma DPS prototyp č. 2 – přední strana



Příloha č. 7 Schéma DPS prototyp č. 2 – zadní strana



Příloha č. 8 Schéma DPS prototyp č. 2 – součástky



Příloha č. 9 Naměřené data

R _Z	U _I INA	U _I měřidla	U _B INA	U _B měřidla	I _I INA	I _I měřidlo
0	5,1854	5,18	20,125	20,141	17,204	17,2065
400	5,1918	5,18	15,125	15,136	12,928	12,931
500	5,1938	5,18	12,1025	12,123	10,342	10,356
600	5,1963	5,19	10,1025	10,113	8,622	8,6392
700	5,197	5,19	8,655	8,675	7,396	7,407
800	5,1975	5,19	7,5676	7,5675	6,476	6,4846
900	5,1975	5,19	6,742	6,745	5,748	5,766
1000	5,1988	5,19	6,07	6,07	5,188	5,1913
2000	5,2	5,19	3,04	3,05	2,588	2,599
3000	5,2	5,19	2,0225	2,038	1,732	1,7341
4000	5,2013	5,19	1,5025	1,531	1,3	1,3014
5000	5,2013	5,19	1,2225	1,228	1,042	1,0419
6000	5,2025	5,19	1,0075	1,025	0,87	0,86837
7000	5,2013	5,19	0,8575	0,88	0,746	0,7446
8000	5,2013	5,19	0,7575	0,772	0,652	0,6518
9000	5,2013	5,19	0,6775	0,688	0,58	0,57964
10 000	5,2025	5,19	0,61	0,62	0,522	0,52193

Příloha č. 10a – Absolutní chyba napětí na bočníku a proudu

$R_Z [\Omega]$	Absolutní chyba U_B [mV]	Absolutní chyba proudu [mV]
300	0,016	0,0025
400	0,011	0,003
500	0,0205	0,014
600	0,0105	0,0172
700	0,02	0,011
800	-0,0001	0,0086
900	0,003	0,018
1000	0	0,0033
2000	0,01	0,011
3000	0,0155	0,0021
4000	0,0285	0,0014
5000	0,0055	-0,0001
6000	0,0175	-0,00163
7000	0,0225	-0,0014
8000	0,0145	-0,0002
9000	0,0105	-0,00036
10 000	0,01	-0,00007

Příloha č. 10b – Relativní chyba napětí na bočníku a proudu

$R_Z [\Omega]$	Relativní chyba U_B [%]	Relativní chyba proudu [%]
300	0,02	0,003846154
400	0,01375	0,004615385
500	0,025625	0,021538462
600	0,013125	0,026461538
700	0,025	0,016923077
800	-0,000125	0,013230769
900	0,00375	0,027692308
1000	0	0,005076923
2000	0,0125	0,016923077
3000	0,019375	0,003230769
4000	0,035625	0,002153846
5000	0,006875	-0,000153846
6000	0,021875	-0,002507692
7000	0,028125	-0,002153846
8000	0,018125	-0,000307692
9000	0,013125	-0,000553846
10 000	0,0125	-0,000107692